



Universidad
Tecnológica
de Pereira

Construcción de un prototipo de un sistema de información para la visualización del prediagnóstico de algunos tipos de arritmias

Jonatan Gutierrez Obando

Universidad Tecnológica de Pereira

Ingeniería en sistemas

Pereira, Colombia

2019

Construcción de un prototipo de un sistema de información para la visualización del prediagnóstico de algunos tipos de arritmias

Jonatan Gutierrez Obando

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Ingeniero en Sistemas

Director (a):

Msc. Ana María López Echeverry

Línea de Investigación:

Medicina Computacional y Machine Learning

Grupo de Investigación:

Nyquist

Universidad Tecnológica de Pereira

Ingeniería en sistemas

Pereira, Colombia

2019

“Solo hay una regla para el futuro: da lo mejor de ti mismo/a, todo lo demás será mera circunstancia” Jorge Belzunces

Agradecimientos

A mi familia por su apoyo incondicional durante tantos años, a mis maestros por su acompañamiento permanente, a mis compañeros que nunca dejaron de empujarme para que lo lograra, a mi novia A.E que estuvo acompañándome en este proceso y a todas las demás personas que de una u otra forma hicieron posible este logro.

Resumen

Las tecnologías de la información y los recientes avances en materia de aprendizaje computacional han dado lugar a aplicaciones realmente interesantes y útiles en innumerables ámbitos de la humanidad, vehículos autónomos hasta máquinas que derrotan a campeones mundiales en distintos juegos. Las ciencias de la salud durante los últimos años se han visto enormemente beneficiadas por estos avances y los han convertido en aliados enormemente poderosos. Esta herramienta aprovecha múltiples tecnologías de inteligencia artificial con máquinas de soporte vectorial (SVN) y desarrollo web RoR para entregar a los profesionales de la salud un sistema que permite analizar, filtrar y clasificar arritmias en base a electrocardiogramas realizados a pacientes. La SVN realiza un prediagnóstico que sirve como insumo para tomar decisiones y una ayuda en el diagnóstico de patologías cardíacas. También recoge y entrega información geográfica con respecto a la distribución de pacientes en sus lugares de residencia y trabajo.

Palabras clave: SVM, electrocardiograma, aplicación web, corazón, arritmia, entrenamiento, gis.

Abstract

Information technologies and recent researchs in machine learning have permitted to discover interesting and useful applications in countless areas of humanity, autonomous vehicles or machines that defeat world champions in different games are some of these applications. The health sciences in recent years have been greatly benefited by these advances and have made them enormously powerful allies. This tool uses multiple artificial intelligence technologies with vector support machines (SVM) and RoR web development to provide healthcare professionals with a system that allows to analyze, filter and classify arrhythmias based on electrocardiograms performed on patients. The SVM performs a prediagnosis that serves as input to make decisions and a helper in the diagnosis of cardiac pathologies. It also collects and delivers geographic information regarding the distribution of patients in their places of residence and work.

Keywords: svm, electrocardiogram, webapp, hearth, arrhythmia, training, gis.

Contenido

1.	Definición del problema	5
1.1	Planteamiento	5
1.2	Justificación	6
1.3	Objetivos	7
1.3.1	Objetivo General	7
1.3.2	Objetivos específicos	7
2.	Marco teórico	8
2.1	Electrocardiogramas	8
2.2	Corazón	11
2.3	Clasificación	14
2.3.1	Redes neuronales	14
2.3.2	Redes neuronales convolucionales	16
2.3.3	Máquinas de soporte vectorial	16
2.4	Detección de ondas	20
2.5	Entrenamiento	21
2.6	Entorno de desarrollo	23
3.	Desarrollo del aplicativo WEB	25
3.1	Arquitectura del Sistema	25
3.2	Base de datos	27
3.2.1	Descripción general	27
3.2.2	Modelo entidad relación	29
3.3	Framework de desarrollo	31
3.3.1	MVC	31
3.3.2	Paquetes de terceros	33
3.4	Módulos	34
3.4.1	Usuarios	34

3.4.1.1	Autenticación y autorización	34
3.4.1.2	Gestión de pacientes	37
3.4.1.3	Gestión de electrocardiogramas	39
3.4.1.4	Consultas espaciales	44
4.	Pruebas de Funcionalidad y Rendimiento de la Aplicación.	47
4.1	Pruebas de carga	47
4.1.1	Pruebas de carga de autenticación	48
4.1.2	Pruebas de carga en consultas a electrocardiogramas	48
4.1.3	Pruebas de carga al procesamiento de la SVM.....	49
5.	Prueba de operación del sistema con información de base de datos de arritmias. ..	52
5.1	Pruebas de usuarios.....	52
5.1.1	Crear un paciente	52
5.1.2	Modificar un paciente existente	53
5.1.3	Eliminar un paciente existente	55
5.1.4	Prueba de carga de electrocardiograma.....	56
5.1.5	Pruebas de consultas geográficas	60
6.	Documentación técnica	61
7.	Conclusiones	62
8.	Bibliografía.....	63
9.	Anexo.....	64
9.1	Casos de uso.....	64
9.2	Requerimientos	70
9.2.1	Propósito.....	70
9.2.2	Alcance	70
9.2.3	Personas involucradas.....	71
9.2.4	Definiciones, siglas y convenciones	71
9.2.4.1	Del negocio.....	71
9.2.4.2	Del sistema	72
9.2.5	Requerimientos funcionales.....	73
9.2.6	Requerimientos no funcionales.....	73
9.2.6.1	Resistencia a fallos.....	73
9.2.6.2	Seguridad	73
9.2.6.3	Mantenibilidad.....	73
9.2.6.4	Confiabilidad	73

9.2.7	Roles del sistema	74
9.2.7.1	Profesional	74
9.2.7.2	Administrador	74

Lista de figuras

Ilustración 1 - Ejemplos de complejos QRS.....	3
Ilustración 2 - Ejemplo de electrocardiograma.....	9
Ilustración 3 - Ejemplo de identificación de ondas en electrocardiograma	9
Ilustración 4 - Anatomía del corazón	12
Ilustración 5 - Diastole y sistole	13
Ilustración 6 - Representación visual de una red neuronal.....	15
Ilustración 7 - Funcionamiento de una red neuronal convolucional	16
Ilustración 8 - Clasificación SVM	17
Ilustración 9 - Datos atípicos en la clasificación	19
Ilustración 10 - Arriba un ECG original, abajo la señal filtrada	20
Ilustración 11 – Sobreentrenamiento de una SVM	22
Ilustración 12 - Python y Matlab.....	24
Ilustración 13 - Arquitectura del sistema	25
Ilustración 14 - Diagrama entidad-relación	29
Ilustración 15 - Autenticación con Devise-Warden	35
Ilustración 16 - Modelo de accesos autorizados a recursos	36
Ilustración 17 - Pantalla de inicio de sesión.....	37
Ilustración 18 - Pantalla de recuperación de cuentas	37
Ilustración 19 - Consolidado de pacientes de un profesional	38
Ilustración 20 - Datos del paciente.....	39
Ilustración 21 - Consolidado de electrocardiogramas.....	39
Ilustración 22 - Visualización de un ECG.....	40
Ilustración 23 - Algunos hallazgos encontrados en un análisis	41
Ilustración 24 - Detalle de una arritmia encontrada	42
Ilustración 25 - Información adicional el ECG	43
Ilustración 26 - Interconexión entre módulos	43
Ilustración 27 - Carga de ECG.....	44

Ilustración 28 - Ejemplo de consulta en el mapa	45
Ilustración 29 - Tiempos de respuesta a login	48
Ilustración 30 - Tiempos de respuesta a consulta de electrocardiogramas	49
Ilustración 31 - Tiempos de respuesta analizando 1635 puntos de entrada.....	50
Ilustración 32 - Tiempos de respuesta analizando 2560 puntos de entrada.....	51
Ilustración 33 - Pruebas de registro de paciente.....	53
Ilustración 34 - Evidencia de respuesta exitosa en registro de paciente	53
Ilustración 35 - Prueba de modificación de un paciente	54
Ilustración 36 - Evidencia de modificación exitosa de un paciente	55
Ilustración 37 - Prueba de eliminar un paciente	56
Ilustración 38 - Evidencia de eliminación de paciente	56
Ilustración 39 - Prueba de carga de electrocardiograma	57
Ilustración 40 - Primera porción de datos de detección de arritmia	58
Ilustración 41 - Segunda porción de datos de detección de arritmia	58
Ilustración 42 - Evidencia de electrocardiograma creado en el sistema con la información correcta de la clasificación de la SVM	59
Ilustración 43 - Evidencia de consulta geográfica exitosa	60

Introducción

Es evidente desde hace ya unos años que las posibilidades que otorga la inteligencia artificial son inimaginables y que vienen transformando toda la interacción global desde múltiples ámbitos. Vehículos autónomos, robots que invierten en bolsa, bots que atienden clientes por chat y otros, son ejemplos reales de cómo el *machine learning* en general ha ido transformando la vida de todos y por supuesto que la medicina no se ha quedado atrás.

Desde la medicina computacional, se han venido realizando importantes esfuerzos por incorporar estas tecnologías, principalmente, en el diagnóstico de patologías como una herramienta a los profesionales de la medicina para tomar decisiones con respecto a los tratamientos que deben realizar con los pacientes. Esto es especialmente importante cuando se trata de realizar detección temprana de enfermedades que pueden aumentar potencialmente el índice de recuperación de los pacientes. Múltiples técnicas se han ido desarrollando para abordar estos desafíos; algunas van desde la aplicación de filtros para procesar y mejorar imágenes diagnósticas (tomografías, resonancias magnéticas), hasta el desarrollo de redes neuronales que, con el entrenamiento adecuado, se pueden convertir en un importante aliado para la toma de decisiones relevantes en la trayectoria clínica de los pacientes.

Sabiendo esto, no es de extrañarse que uno de los principales campos en los que la investigación ha incursionado, haya sido el procesamiento para el diagnóstico de arritmias

cardíacas ya que esta área posee casi todas las características en los que la inteligencia artificial puede ser un apoyo valioso. En general, una arritmia cardíaca hace referencia a cualquier alteración anormal del ritmo cardíaco por la frecuencia o la forma de la onda que describe su comportamiento a nivel eléctrico; durante las diferentes situaciones que puede vivir un individuo, resulta normal que dichas pulsaciones aumenten o disminuyan en respuesta a una necesidad energética como en el caso una actividad física intensiva o también en reacción ante ciertos fármacos como la adrenalina; sin embargo, en otras ocasiones, son resultado de un malfuncionamiento del corazón que si bien, en la mayoría de casos no suele ser una afección grave, si puede llegar a suponer un problema de salud que reduce sustancialmente el tiempo de vida del corazón.

Actualmente la lectura de exámenes médicos del corazón se realiza mediante la apreciación visual de los profesionales de la medicina que, en base a sus conocimientos y experiencia, detectan patrones anormales en los exámenes que pueden indicar un funcionamiento inadecuado del corazón u otro órgano relacionado; por lo tanto, la precisión de estos diagnósticos, quedan supeditados a la pericia de los profesionales que realizan el análisis dichos exámenes. Esta tarea se vuelve aún más compleja cuando se trata de exámenes de larga duración como los electrocardiogramas de 24 horas en los cuales, un dispositivo registra toda la actividad cardiaca del paciente durante todo el día. Suponiendo que una persona promedio registra 80 pulsaciones por minuto, la cantidad de pulsaciones registradas en estos exámenes alcanza los 115.200 por lo cual se vuelve un desafío encontrar indicios de arritmias que no sean tan evidentes o frecuentes.

Conscientes de ello múltiples organizaciones a lo largo de los años, han ido recopilando un importante banco de información anónima valiosa con muestras de exámenes que evidencian diferentes estados de salud, desde electrocardiogramas con diagnósticos oficiales de arritmias, hasta ejemplos de exámenes de pacientes que presentan un buen estado de salud. De esta forma, al tener un *dataset* de información lo suficientemente amplio, se puede construir una herramienta computacional que pueda aprender a identificar con un buen nivel de confianza, patrones que indiquen potencialmente la presencia arritmias y por ende un malfuncionamiento del corazón, de tal forma que, los profesionales de la medicina puedan invertir mayor tiempo y esfuerzo en la prescripción de tratamientos para los pacientes y menos en labores en las que las máquinas puedan ayudar.

El principal insumo para la discriminación de arritmias por parte de profesionales y máquinas es el estudio detallado de lo que se conoce como complejo QRS que es, la representación visual de la suma de todas las descargas a nivel eléctrico de las células ventriculares.

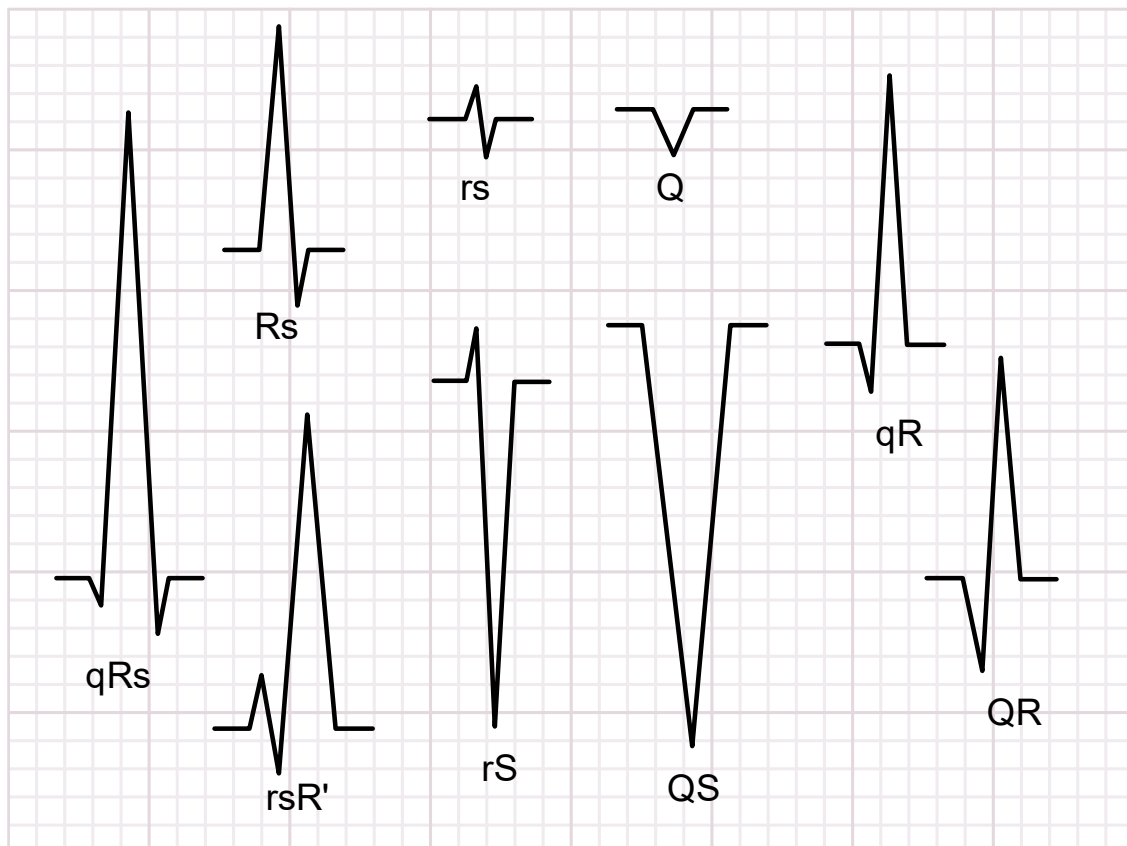


Ilustración 1 - Ejemplos de complejos QRS

Como se puede apreciar en la ilustración, no siempre se conforma de 3 picos y por convención, cualquier combinación de estas ondas representan un complejo QRS por lo cual se vuelve más complejo el análisis. Al determinar la duración, frecuencia, amplitud y demás características de estas ondas, se puede extraer información sobre patrones que indiquen comportamientos típicos de algunos tipos de arritmias. Puesto sobre una aplicación web donde se pueda realizar el análisis y llevar un registro que indique la trazabilidad del proceso que llevan los pacientes, hace que este prototipo se constituya como una herramienta útil y accesible para entregar una segunda opinión en el proceso de diagnóstico de arritmias cardíacas.

1. Definición del problema

1.1 Planteamiento

Existen actualmente dificultades para realizar la lectura de los ECG debido a la extensión de algunos que incluso, pueden llegar a alcanzar las 24 horas de registros en los cuales pueden, suponiendo 80 latidos por minuto, registrarse alrededor de 115.200 latidos por lo que existe la posibilidad de que existan detalles que escapen a la inspección del profesional.

El hecho de poder tener una trazabilidad de la evolución de los pacientes también es una característica importante a la hora de realizar el diagnóstico de alguna patología que puedan padecer los pacientes y con la caracterización actual, no es viable realizar los análisis estadísticos poblacionales que puedan indicar si hay tendencias en el padecimiento de enfermedades ligadas a una causa común. Adicional a esto, los ECG permanecen mayoritariamente en formato físico por lo que representa una barrera para acceder a dicha información en cualquier momento.

1.2 Justificación

La lectura de electrocardiogramas es una tarea recurrente en la medicina. Muchas patologías existentes tienen repercusiones en el funcionamiento normal del corazón, por lo cual, reconocer e identificar estas patologías puede arrojar luz sobre el diagnóstico preciso del estado médico de los pacientes y plantear un tratamiento oportuno conducente a la recuperación efectiva. Los médicos generales y los cardiólogos realizan estas lecturas con regularidad, toman los ECG mediante los electrocardiógrafos (o dispositivos Holter), imprimen el resultado como una señal con información de esta, con base en una inspección visual del examen realizan el diagnóstico.

El proceso anterior involucra dos variables importantes: la calidad de la señal capturada (que puede verse afectada por el estado del dispositivo o una disposición inadecuada de los electrodos) y la inspección con su respectivo diagnóstico que realiza el profesional. Ambas variables influyen de forma significativa la interpretación de los resultados en la medida en que la señal es de buena calidad y el profesional tenga la experticia y conocimiento suficiente para emitir un concepto.

En aras de proporcionar una herramienta que pueda apoyar a los profesionales de la medicina en ambas fases, desarrollar una herramienta que pueda realizar un filtrado de la señal para eliminar ruido que interfiera en la lectura y a su vez, emitir un prediagnóstico que pueda servir de apoyo al profesional en la emisión final del diagnóstico, se convierte en una alternativa viable para optimizar estos procesos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Implementar un prototipo web para la visualización del prediagnóstico de algunos tipos de arritmias.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar un documento de requerimientos con la solución a implementar.
- Realizar los diseños de alto y bajo nivel para la solución.
- Desarrollar e implementar el prototipo.
- Diseñar y Ejecutar el plan de pruebas
- Realización de ajustes a los errores encontrados.
- Realizar una prueba con información de arritmias identificadas para validar la hipótesis
- Elaborar el informe final y documentación técnica requerida para la solución.

2.Marco teórico

2.1 Electrocardiogramas

Un electrocardiograma (ECG o EKG) es una medición que representa gráficamente la actividad eléctrica del corazón en función del tiempo; es decir, una línea que a lo largo del tiempo (semicontinuo) describe la suma de diferencias de potencial eléctrico (voltaje) de todas las células del corazón. Esta medición se realiza mediante un determinado número de electrodos que se colocan en la superficie del pecho del paciente y registran distintos canales. El propósito de esta medición es determinar si el comportamiento a nivel eléctrico indica un funcionamiento electromecánico adecuado del corazón; si las contracciones musculares se llevan a cabo de forma correcta, si los impulsos viajan en las magnitudes y direcciones normales, si el ritmo cardiaco se encuentra dentro de los patrones esperados y otro conjunto de características que se pueden analizar.

El ECG, representa uno de los insumos más importantes en la detección de patologías cardíacas y su uso está ampliamente extendido dentro de la comunidad médica y científica.

Dentro de los instrumentos más populares para realizar estas mediciones se encuentra el EDAN, que toma muestras pequeñas de algunos segundos o minutos y que se realiza en instalaciones clínicas para supervisar de forma breve el funcionamiento del corazón; por otra parte se encuentran los dispositivos Holter que permite tomar muestras prolongadas de actividad cardíaca, estos aparatos son usados por el paciente durante todo el día mientras realiza sus actividades rutinarias lo cual es especialmente importante puesto que algunas arritmias solo se manifiestan bajo un conjunto de condiciones y estímulos externos que no se pueden recrear en el tiempo o en el ambiente hospitalario.

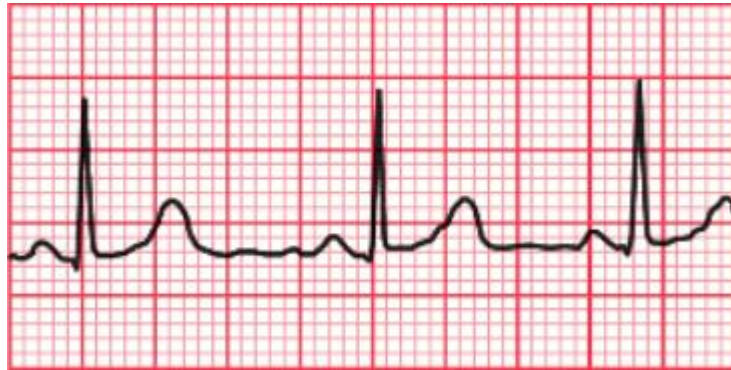


Ilustración 2 - Ejemplo de electrocardiograma¹

De forma visual, estas líneas representan ondas muy características en las que predominan un conjunto estrecho de ondas con picos seguidas de un tiempo de relativa inactividad, para después volver a repetirse el ciclo. Analizar la forma de estas ondas es la actividad principal de la cual se extraen conclusiones acerca de la salud del corazón.

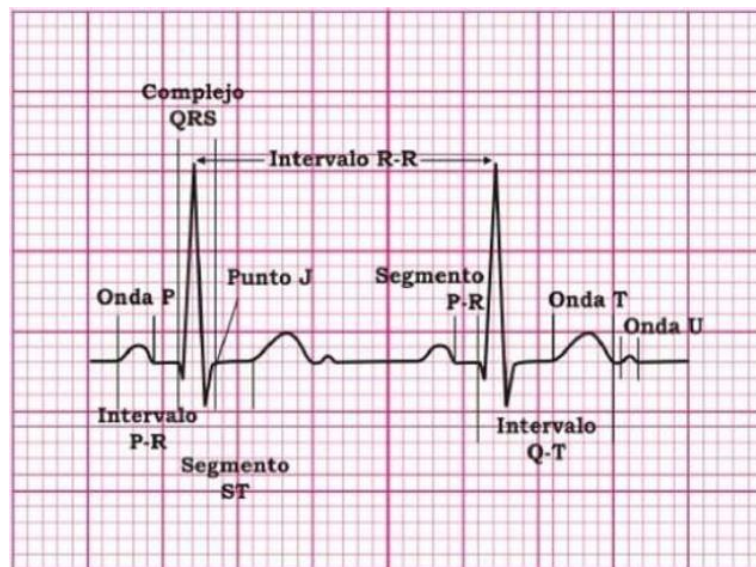


Ilustración 3 - Ejemplo de identificación de ondas en electrocardiograma²

¹ Tomado de <https://www.elsevier.com>

² Tomado de <https://es.slideshare.net>

Estas ondas debido a sus características han sido etiquetadas como P, Q, R, S, y T. Este desarrollo basa sus principales conclusiones en el análisis de las características que contiene el complejo de ondas QRS para determinar la presencia de arritmias.

- Onda P: Representa la despolarización de las aurículas. Su duración normal es de 0,1 s. Un aumento del voltaje o de la duración de esta onda indica una anomalía auricular. La ausencia de esta onda ocurre en una parada del nodo sinusal, y en el bloqueo SA sinoauricular (situación en la que sí se despolariza el nodo sinusal, pero no se transmite el impulso a las células de la aurícula contiguas). La repolarización de las aurículas queda enmascarada en la despolarización de los ventrículos.
- Complejo QRS. Representa la despolarización de los ventrículos. Está formado por las ondas Q, R y S, aunque se pueden presentar otras denominadas R' y S'. Su duración es de aproximadamente 120 ms máximo.
- Onda T. Representa la repolarización de los ventrículos. La onda T normal es asimétrica en sus ramas y está redondeada en su vértice. Las anomalías de esta onda pueden indicar trastornos del equilibrio hidroelectrolítico.
- Onda U. Corresponde a la repolarización de las fibras de Purkinje, aunque en realidad tiene un origen fisiológico poco claro. Es anormal en trastornos del Potasio.
- Segmento PR. Corresponde a la línea isoelectrica entre el comienzo de la onda P y la deflexión inicial del complejo QRS. La duración normal de este segmento está entre 0.12 s y 0.20 s, dependiendo de la frecuencia cardiaca.
- Segmento ST. Es el intervalo entre el final del complejo QRS y el inicio de la onda T. Representa el tiempo durante el que los ventrículos permanecen en estado activado y puede iniciarse la repolarización ventricular. Una desviación elevada a menudo representa un infarto de miocardio, una pericarditis aguda o una miocarditis.

- Intervalo PP. Corresponde al intervalo de tiempo entre el comienzo de la onda P y el comienzo de la siguiente onda P.
- Intervalo RR. Corresponde al intervalo de tiempo entre la onda R de un complejo QRS y la onda R del siguiente complejo QRS.
- Intervalo QRS. Corresponde al intervalo de tiempo entre el comienzo de la onda Q y el final de la onda S, dentro del mismo complejo QRS. Es un indicador del tiempo de conducción intraventricular.
- Intervalo QT. Corresponde al intervalo de tiempo entre el comienzo del complejo QRS y el final de la onda T, representando la duración de la sístole eléctrica. (Pinzon, 2011)

2.2 Corazón

El corazón es el órgano principal del aparato circulatorio, es un órgano muscular hueco que funciona como una bomba aspirante e impelente que impulsa la sangre a través de las arterias para distribuirla por todo el cuerpo. Este tiene un sistema especial que crea y envía impulsos eléctricos (señales eléctricas). Primero, estos impulsos hacen que se contraigan las aurículas (las dos cámaras superiores del corazón), con lo cual la sangre pasa a los ventrículos (las dos cámaras inferiores del corazón). Luego, los impulsos eléctricos hacen que se contraigan los ventrículos, con lo cual la sangre es bombeada hacia los pulmones y el resto del cuerpo. Grupos de células especiales en la aurícula derecha, llamados nódulos o nudos, emiten impulsos eléctricos que se desplazan por ciertos circuitos en el corazón. En los ventrículos, estos circuitos se llaman fascículos, o ramas del haz de His. (<https://www.fairview.org/patient-education/82748>, 2018)

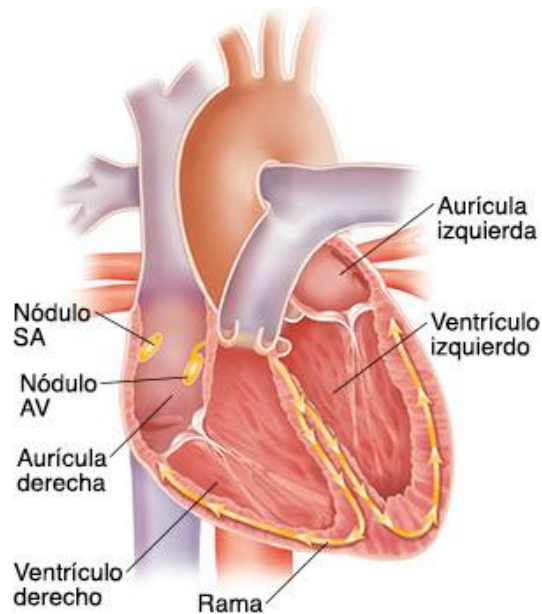


Ilustración 4 - Anatomía del corazón³

Está situado entre los pulmones, a la izquierda del tórax, apoyado sobre el diafragma y detrás del esternón. La masa muscular que lo constituye recibe el nombre de miocardio y está formada por tejido muscular de tipo cardíaco, que se caracteriza por no estar sometido a la voluntad, sino que funciona de manera automática (a diferencia de los músculos del brazo, por ejemplo). El interior del corazón está dividido en cuatro cámaras (dos aurículas y dos ventrículos) separadas por unas válvulas llamadas tricúspide (a la derecha) y mitral (a la izquierda). Unas gruesas paredes musculares separan la parte derecha e izquierda del corazón, que actúan como dos corazones coordinados: la parte izquierda para la sangre arterial (rica en oxígeno), y la derecha para la venosa (pobre en oxígeno). (Como funciona el corazón, 2001)

³ Tomado de <https://www.fairview.org>

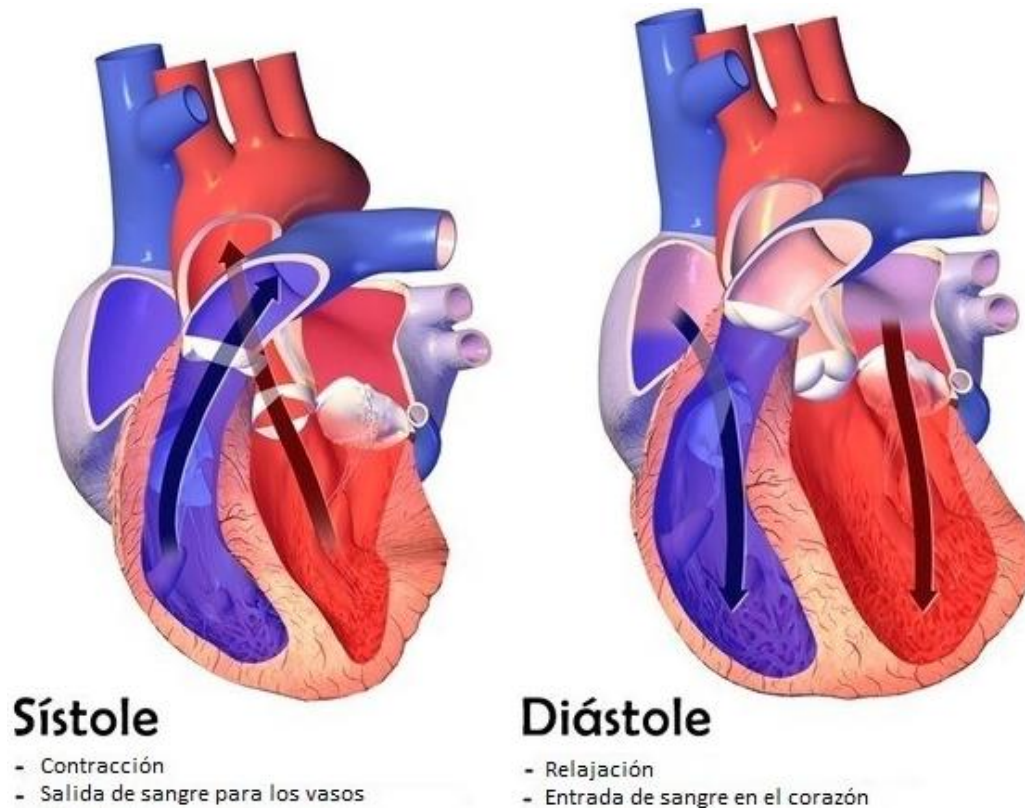


Ilustración 5 - Diastole y sístole⁴

La pared cardíaca, al igual que la pared vascular, está formada por tres capas de tejidos. La más interna recibe el nombre de endocardio y es una capa de células epiteliales muy planas con uniones muy fuertes entre ellas, y en contacto continuo con la sangre. La capa media es la más importante y se denomina miocardio, está formada por fibras musculares estriadas cardíacas que superficialmente se disponen de forma oblicua, en la porción central del miocardio adoptan una disposición circular y las más profundas se sitúan longitudinalmente. Su contracción garantiza un acortamiento en todos los ejes del espacio y justifica la función de bomba que tiene esta estructura. La tercera capa de la pared cardíaca y la más externa es el epicardio, formado por tejido conectivo laxo con redes de fibras elásticas, vasos y nervios, permite los movimientos del corazón con un rozamiento

⁴ Tomado de <https://www.diferenciador.com/sistole-y-diastole/>

mínimo, funciona como lubricante, disminuyendo la fricción en los continuos movimientos cardíacos, e impide los llenados excesivos. (Propiedades electricas del corazón, 2017)

2.3 Clasificación

Por su parte, en ciencias de la computación, la clasificación es uno de los problemas más típicos en el ámbito del *machine learning*; de hecho, existen técnicas altamente complejas que van desde el modelado de redes neuronales profundas con filtros convolucionales, hasta métodos de entrenamiento intensivo como el aprendizaje reforzado. Estas técnicas, han permitido realizar avances sustanciales con respecto al alcance y las aplicaciones que pueden tener estos algoritmos. Dentro de las metodologías más robustas para la detección de patrones se pueden distinguir:

2.3.1 Redes neuronales

Las redes neuronales son un modelo computacional inspirado en el funcionamiento de la red neuronal humana; basa su funcionamiento en un conjunto de unidades, llamadas neuronas artificiales, conectadas entre sí para transmitirse señales. La información de entrada atraviesa la red neuronal (donde se somete a diversas operaciones) produciendo unos valores de salida. Cada neurona está conectada con otras a través de unos enlaces. En estos enlaces el valor de salida de la neurona anterior es multiplicado por un valor de peso. Estos pesos en los enlaces pueden incrementar o inhibir el estado de activación de las neuronas adyacentes. Del mismo modo, a la salida de la neurona, puede existir una función limitadora o umbral, que modifica el valor resultado o impone un límite que se debe sobrepasar antes de propagarse a otra neurona. Esta función se conoce como función de activación. (Matich, 2001)

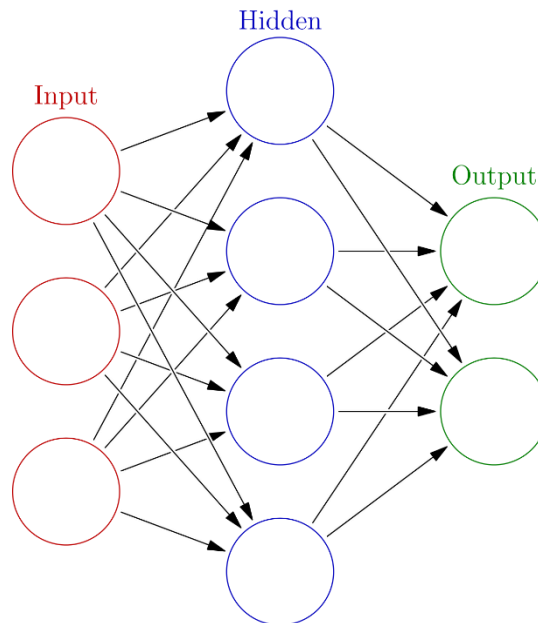


Ilustración 6 - Representación visual de una red neuronal⁵

En la Ilustración 4 - Anatomía del corazón, se representan 3 capas principales:

- En la capa de entrada se reciben los datos; la información inicial que se va a clasificar (o que servirá como entrenamiento). Sobre esta información se aplican cálculos matemáticos que propagaran sobre la siguiente capa.
- En las capas ocultas la información es recibida de tal forma que pasa a través de un determinado número de capas ocultas propagando los resultados de cada una sucesivamente hasta llegar a la capa de salida
- En la capa de salida, normalmente se usa el mínimo conjunto de nodos necesarios para describir el resultado (una clasificación, un valor real, etc). La última capa oculta entrega la información computada por completo y en base a esto, la capa de salida representa el resultado.

⁵ Tomado de <https://commons.wikimedia.org>

2.3.2 Redes neuronales convolucionales

Las redes neuronales convolucionales (CNN), son ampliamente utilizadas para el procesamiento de imágenes, computer visión, reconocimiento OCR, vehículos autónomos y detección de patrones; son una variante de los perceptrones multicapa y encuentran sus virtudes en la aplicación de filtros que buscan destacar features en los datos a través de las capas de tal forma que se obtenga una diferenciación más marcada entre las características que determinan la pertenencia de un elemento a una clase u otra.

La convolución es matemáticamente una función que se aplica sobre otra función, es decir que cada capa, aplica un filtro sobre una porción de la información buscando descartar la mayor cantidad de información irrelevante para centrarse en las características que mayor correlación tienen con la clasificación final del elemento. (Dan C. Cireşan, 2011)

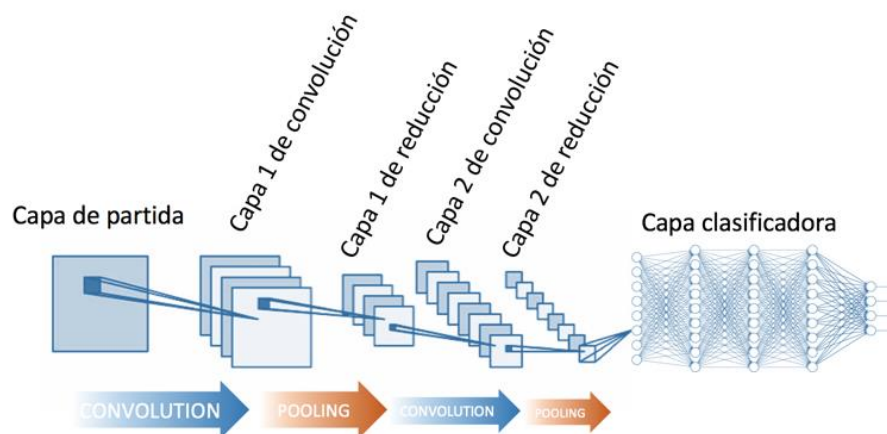


Ilustración 7 - Funcionamiento de una red neuronal convolucional⁶

2.3.3 Máquinas de soporte vectorial

Las máquinas de soporte vectorial (SVM), que permiten realizar clasificaciones binarias maximizando la separación que existe entre las clases con las que se quiere realizar una clasificación, utilizando lo que se denomina *vectores de soporte*, que son los elementos

⁶ Tomado de <http://www.diegocalvo.es>

más cercanos de cada clase a la superficie de separación (hablando en términos de hiperespacio). Teniendo estos puntos cercanos, se puede construir un espacio a través del cual trazar el límite (una superficie que maximice la distancia a todos estos puntos) que discrimine la pertenencia de un elemento a una clase o a otra.

Idealmente, el modelo basado en SVM debería producir un hiperplano que separe completamente los datos del universo estudiado en dos categorías. Sin embargo, una separación perfecta no siempre es posible y, si lo es, el resultado del modelo no puede ser generalizado para otros datos. Esto se conoce como sobreajuste (overfitting). Con el fin de permitir cierta flexibilidad, los SVM manejan un parámetro C que controla la compensación entre errores de entrenamiento y los márgenes rígidos, creando así un margen blando (soft margin) que permita algunos errores en la clasificación a la vez que los penaliza. La manera más simple de realizar la separación es mediante una línea recta, un plano recto o un hiperplano N-dimensional.

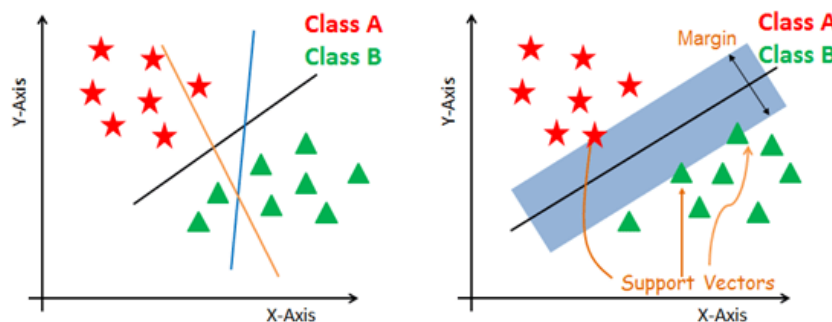


Ilustración 8 - Clasificación SVM⁷

Desafortunadamente los universos a estudiar no se suelen presentar en casos idílicos de dos dimensiones como en el ejemplo anterior, sino que un algoritmo SVM debe tratar con más de dos variables predictoras, curvas no lineales de separación, casos donde los conjuntos de datos no pueden ser completamente separados, clasificaciones en más de dos categorías y otras. Debido a las limitaciones computacionales de las máquinas de

⁷ Tomado de <https://www.datacamp.com>

aprendizaje lineal, éstas no pueden ser utilizadas en la mayoría de las aplicaciones del mundo real. La representación por medio de funciones Kernel ofrece una solución a este problema, proyectando la información a un espacio de características de mayor dimensión el cual aumenta la capacidad computacional de la máquina de aprendizaje lineal. Es decir, se mapea el espacio de entradas X a un nuevo espacio de características de mayor dimensionalidad. (Máquinas de vectores de soporte, 2019)

Aun así, el caso anterior solo es válido para el caso donde los datos son linealmente separables, es decir, los datos de entrenamiento no tienen intersecciones. Sin embargo, este tipo de problemas no se presentan con regularidad en la práctica. Las soluciones de programación cuadrática, como se mostraron anteriormente, no pueden ser utilizadas en el caso de intersecciones porque no constituyen un umbral donde se pueda maximizar la distancia del hiperplano a los extremos de este. En dichos casos, no es conveniente que la SVM se ajuste totalmente a los datos. En la Ilustración 9 - Datos atípicos en la clasificación se observan dos conjuntos de datos y la frontera de decisión que se obtendría con la SVM de margen máximo. Cada conjunto está agrupado excepto por un punto que se encuentra próximo a los datos de la otra clase. Este se puede considerar como un dato atípico o que ha sido clasificado por error. Este punto no debería ser considerado para hallar la frontera de decisión ya que podría alterar los resultados deseados y llevaría a clasificaciones incorrectas.

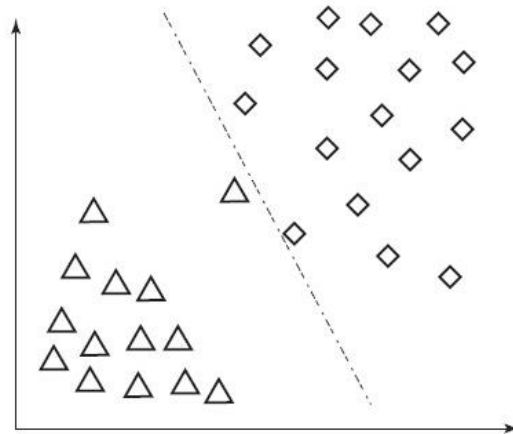


Ilustración 9 - Datos atípicos en la clasificación⁸

“Las SVM se empezaron a emplear para resolver problemas de clasificación y reconocimiento de patrones para luego extenderse en el estudio de predicción de series de tiempo. Los problemas de clasificación se emplean para obtener resultados de tipo cualitativo, por ejemplo, determinar la clase de un dato de entrada o características, mientras que las de tipo regresión son más útiles en problemas cuantitativos, cuando se trata de obtener una salida numérica al dato de entrada (Camps y Bruzzone, 2009; Fernando y Gutiérrez, 2011; Lember, 2012).

Un punto a favor de utilizar este tipo de modelos es que el desempeño de las SVM no depende del tamaño de la muestra que se va a utilizar para el problema, por lo que puede ser utilizado para una cantidad limitada de datos en contraste con otras metodologías que presentan mejor desempeño cuando el tamaño de la muestra es grande. Asimismo, el algoritmo detrás de las SVM se puede ajustar a problemas no lineales y la solución se realiza bajo programación cuadrática, lo cual hace que su solución sea única y generalizable” (Anzola, 2015)

Otro factor importante que es transversal a todos los métodos de análisis de señales es la aplicación de filtros digitales. La naturaleza de estas mediciones introduce ruido a la señal proveniente de interferencia electromagnética, pulsaciones de músculos cercanos al corazón, el propio ruido generado por el dispositivo que realiza la medición y otras múltiples

⁸ Tomado de: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/odeon/article/view/4414/5256>

causas, por lo cual, resulta sumamente necesario implementar filtros que purifiquen la señal; de esta forma, no solo se obtiene un entrenamiento más preciso sino que en la evaluación se reduce la tasa de falsos positivos al no detectar como arritmias señales que fueron ocasionadas por algún factor externo y no propiamente por el comportamiento cardíaco. (Hamed & Owis, 2016)

Para este tipo de filtro, es posible referirse como un tipo de filtro que opera sobre señales discretas y cuantizadas, implementado con tecnología digital, bien como un circuito digital o como un programa informático. Usualmente los algoritmos implementan varios de estos filtros además de transformaciones no lineales para reducir al máximo esta tasa sin perder información de la señal. (Filtro Digital, 2019)

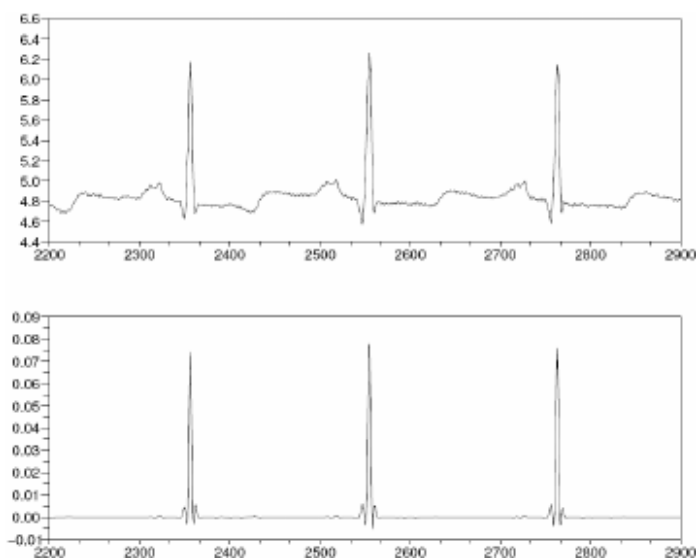


Ilustración 10 - Arriba un ECG original, abajo la señal filtrada⁹

2.4 Detección de ondas

Muchas estrategias han optado por realizar una detección en tiempo real de estas ondas. Buscan disminuir la cantidad de lecturas irrelevantes (porque indican un funcionamiento

⁹ Tomado de <https://www.researchgate.net>

normal) y registrar en la medida de lo posible únicamente segmentos anormales o que puedan dar indicios de alguna patología. Estos acercamientos (a menos que los dispositivos medidores sean programables) implican la incorporación de hardware que se encarga de recibir y únicamente reportar señales que presenten alguna anomalía.

De esa forma, cuando el profesional realice la lectura del ECG, analizará únicamente los segmentos potencialmente relevantes en lugar de ver muchos segmentos que no representan problema alguno; aumentando la tasa de detección acertada de padecimientos cardíacos. (Da S.Luz, Robson Schwartz, Cámara, & Menotti, 2016)

2.5 Entrenamiento

El entrenamiento de la SVM consiste en aplicar reajustes en los parámetros del hiperplano que realiza la separación de las clases. Cada vez que pasa por la SVN un elemento cuya etiqueta ya se conoce, se ajustan los parámetros de dicho hiperplano para que la evaluación de dicho elemento arroje la etiqueta conocida. Cabe anotar que este proceso es estadístico y no es perfecto en el sentido de que; no todos los elementos que pasan por el dataset de entrenamiento son etiquetados como fueron entrenados, la SVM busca mantener un equilibrio de tolerancia a información mal etiquetada o muy cercana al umbral para mantener al máximo posible la tasa de acierto en las clasificaciones.

Una porción del *dataset* se usa como entrenamiento y otra porción se utiliza para evaluar; utilizar los datos apropiados para entrenar la SVM también puede significar una diferencia importante con respecto a la precisión, se busca mantener la mayor variedad posible en el dataset de entrenamiento para evitar que se produzcan sesgos en la clasificación y la SVM otorgue relevancia a características que realmente no lo tienen tanto. Al final la precisión de la red se evalúa con la tasa de éxito clasificando datos cuyas etiquetas ya se conocían. (Anzola, 2015)

Para realizar el entrenamiento y evaluación de esta y a cualquier red, es requerida una base de datos de información lo suficientemente grande y bien etiquetada con la que la SVM pueda comenzar a identificar patrones relacionados a arritmias. Un conjunto de entrenamiento mal etiquetado introduce errores de clasificación a la red neuronal, sin

embargo, un entrenamiento excesivo produce *overfitting* que es el efecto de sobreentrenar un algoritmo de aprendizaje con unos ciertos datos para los que se conoce el resultado deseado.

Estos efectos deben controlarse con el uso razonable de los datos de entrenamiento y de evaluación. El éxito del entrenamiento de una máquina radica principalmente en la variedad de los datos de entrenamiento y no necesariamente en la cantidad; un dataset muy numeroso de con ejemplares muy similares introduce fácilmente sesgo e imposibilidad de reconocer cualquier elemento que no se le parezca. En cambio, un entrenamiento con un dataset más pequeño, pero con variedad de especímenes arroja por lo general una clasificación más acertada de elementos desconocidos.

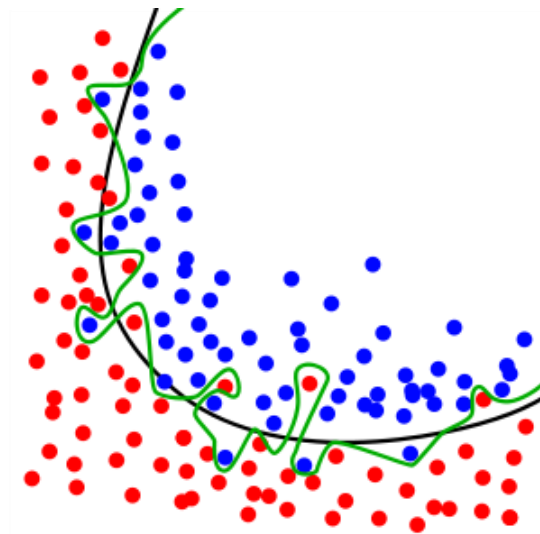


Ilustración 11 – Sobre entrenamiento de una SVM¹⁰

El algoritmo de aprendizaje debe alcanzar un estado en el que será capaz de predecir el resultado en otros casos a partir de lo aprendido con los datos de entrenamiento, generalizando para poder resolver situaciones distintas a las acaecidas durante el entrenamiento. Sin embargo, cuando un sistema se entrena demasiado (se sobreentrena) o se entrena con datos extraños, el algoritmo de aprendizaje puede quedar ajustado a unas características muy específicas de los datos de entrenamiento que no tienen relación

¹⁰ Tomado de <https://commons.wikimedia.org>

causal con la función objetivo. Durante la fase de sobreajuste el éxito al responder las muestras de entrenamiento sigue incrementándose mientras que su actuación con muestras nuevas va empeorando.

El *dataset* de entrenamiento utilizado pertenece a la base de datos de Physiobank, en el cual además de bases de datos de ECG's, ofrecen datos sobre otros tipos de exámenes clínicos de tipo neuro eléctrico, respiratorio, de signos vitales y otros.

2.6 Entorno de desarrollo

Las SVM son transversales a cualquier entorno o lenguaje de programación; sin embargo, su implementación se torna más simple utilizando lenguajes o *framework* de propósito científico debido al modelado (a veces complejo) de la información. Modelar operaciones matriciales, matemática simbólica y otras expresiones complejas son algunas de las características que se tienen en cuenta al utilizar un lenguaje o *framework* de desarrollo.

Recientemente, lenguajes como Python han tomado la delantera en cuanto a modelado matemático gracias a librerías como pandas, numpy, tensorflow, pytorch y scipy que facilitan dichas tareas, además de ofrecer métodos muy robustos de machine learning. Igualmente, el uso de entornos de desarrollo completos como Matlab (que es el entorno donde se ejecuta en este caso), también representan una buena opción para el modelado ya que es un lenguaje construido con propósito científico desde el principio por lo cual resulta intuitivo y versátil; procesar matrices, aplicar funciones sobre las mismas y demás operaciones son rápidas y sencillas.



Ilustración 12 - Python y Matlab¹¹

Por su parte, la web desde hace una década supuso un salto gigantesco con respecto a los servicios tecnológicos. Todas las organizaciones comenzaron a ofrecer múltiples servicios online, incluso de propósito médico. Solicitar médicos a domicilio, realizar consultas en línea mediante webcam, solicitar autorizaciones médicas a través de plataformas en internet son también muchos de los alcances en materia clínica que la web ha abierto. Así mismo, fueron apareciendo tecnologías altamente robustas para el desarrollo web construidas sobre lenguajes modernos como Django, RoR, Express.js y nuevas propuestas sobre lenguajes de mucha madurez como Laravel.

Finalmente, la elección del sistema operativo se encuentra supeditado a la posible interacción con dispositivos a bajo nivel y la disponibilidad de librerías con las cuales se realiza la implementación. Desarrollar a bajo nivel hace que muchas personas opten por sistemas basados en UNIX como Linux que otorgan una mayor configurabilidad y versatilidad en el manejo de paquetes, sin embargo, algunos usuarios prefieren utilizar ambientes de desarrollo más robustos que funcionen en Windows sin echar en falta algunas configuraciones. En cualquier caso, todos los ambientes de desarrollo mencionados anteriormente funcionan con sus configuraciones estándar perfectamente en los sistemas operativos más populares por lo cual, la portabilidad resulta sencilla y su elección, una cuestión de preferencias.

¹¹ Tomado de <https://www.mathworks.com>

3.Desarrollo del aplicativo WEB

3.1 Arquitectura del Sistema.

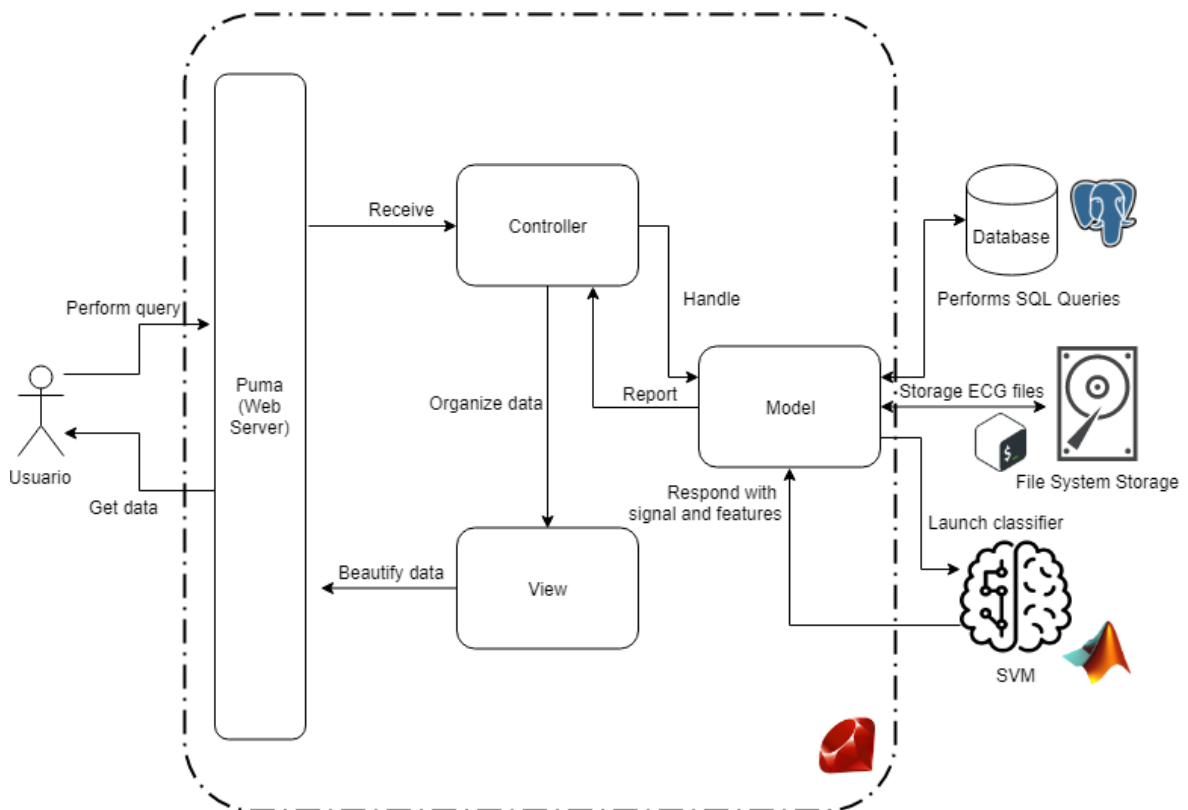


Ilustración 13 - Arquitectura del sistema

La solución propuesta se compone de 4 servicios principales:

- Una aplicación web construida en Ruby On Rails que permitirá controlar todo el manejo y la comunicación de los usuarios a los datos y herramientas. Este se compone a su vez de tres componentes:
 - o Un **servidor web** llamado puma que se encargará de gestionar todas las solicitudes entrantes. Esta capa se encarga de escuchar las peticiones a los puertos de la maquina y responder con los resultados al usuario

- **Una capa de controladores** que recibe las peticiones y se encarga de gestionar desde arriba las operaciones con respecto a las acciones que deben realizarse para responder a los usuarios (o denegar los accesos).
 - **Una capa de modelos** que se encarga de proteger y mantener la integridad de la información. Busca realizar operaciones atómicas que mantengan la base de datos en un estado integro y desarrolla la lógica de negocio a bajo nivel.
 - **Una capa de vistas** que se encargan de organizar y presentar la información de manera visual para que el usuario pueda entenderla e interactuar con ella.
-
- Una base de datos que se encarga de almacenar toda la información estructurada de la aplicación. Ahí se encuentran los datos de usuarios, electrocardiogramas procesados y las arritmias que se encontraron.
 - Una SVM que se ejecuta en demanda por parte del modelo. Esta permite procesar archivos de ECG como instancias independientes y ejecutar las tareas de análisis solamente cuando se requieren.
 - Una capa de gestión del sistema de archivos para almacenar ficheros de ecg que sean cargados por los usuarios. Junto con la información estructurada, esta ayuda a consolidar un set de entrenamiento que podrá retroalimentar la red en futuras versiones del aplicativo

Esta arquitectura permite desarrollar funciones de autenticación de usuarios, gestión de electrocardiogramas con sus respectivas arritmias detectadas y diagnosticadas y al final, realizar consultas geográficas por criterios de arritmias. El controlador se encarga de gestionar el acceso de los usuarios a la información con la que pueden interactuar, el modelo se encarga de gestionar el sistema de archivos con los datos planos de los electrocardiogramas cargados, suministrar esta información a la SVM, procesar la respuesta de la misma organizando y almacenando los datos en la base de datos, reportando el estado de dichas tareas al controlador y entregando la información requerida para consolidar una respuesta al usuario que realizó la petición.

3.2 Base de datos

3.2.1 Descripción general

PostgreSQL, en su versión 9.5 es el motor de base de datos elegido para dar soporte a toda la información estructurada que maneja la aplicación. Posee múltiples características que la hacen una decisión apropiada el propósito de esta aplicación:

- Implementa un sistema de alta concurrencia en el cual mientras un usuario escribe en una tabla los demás pueden visualizarla sin bloqueos y conservando la consistencia de la información.
- Posee una amplia variedad de tipos de datos nativos con lo que facilita el almacenado y extracción de la información.
- Posee un complemento que permite realizar cálculos geográficos que le aporta valor al momento de realizar consultas y encontrar patrones geográficos que se manifiesten en *insights* potenciales.
- Flexible, estable y muy robusta.

La información se estructura de forma que se puedan cumplir los siguientes requerimientos de datos:

- Los usuarios se encuentran almacenados en una tabla junto a la información y credenciales de usuario que estos pueden usar para acceder a la plataforma (como alcance futuro).
- Los usuarios tienen registrados la posición de sus lugares de domicilio y trabajo dentro de su tabla. Esto permite encontrar patrones geográficos que indiquen posibles causas de patologías que puedan atribuirse a factores ambientales.

- Los usuarios pueden acceder a la información de los electrocardiogramas que se le han practicado en los que puede observar, tanto el diagnóstico realizado por la SVM, como el realizado por el profesional que realizó la lectura.
- La señal es procesada por la SVM cuando el profesional crea una instancia de electrocardiograma a través del aplicativo y adjunta el archivo de la señal en los formatos soportados.
- La información de la señal filtrada y procesada se almacena en formato JSON dentro de un campo especial para tal propósito. Esto facilita el acceso y reduce considerablemente los tiempos de acceso y búsqueda. La información del archivo inicial reposa en el almacenamiento del disco duro.
- El detalle de los hallazgos encontrados se registra en un modelo aparte para facilitar las búsquedas por características más adelante.
- Los profesionales pueden revisar la información sobre exámenes que han cargado al aplicativo y consultar el veredicto que entrega la SVM al analizar los resultados.
- Los profesionales pueden consultar información de electrocardiogramas que cumplan con determinados criterios de búsqueda.
- Un administrador puede gestionar todos los registros del sistema.
- Posee gestión de cuentas de usuario para recuperación en caso de olvido.
- Permite almacenar información básica de usuario y observaciones de los pacientes que sean relevantes para análisis.
- Permite realizar la visualización de la señal filtrada, a su vez que se puede visualizar la información de las arritmias detectadas por la SVM como ubicación en la señal original, tipo, métricas de las ondas P, Q, R, S, QRS, RR y demás.

3.2.2 Modelo entidad relación

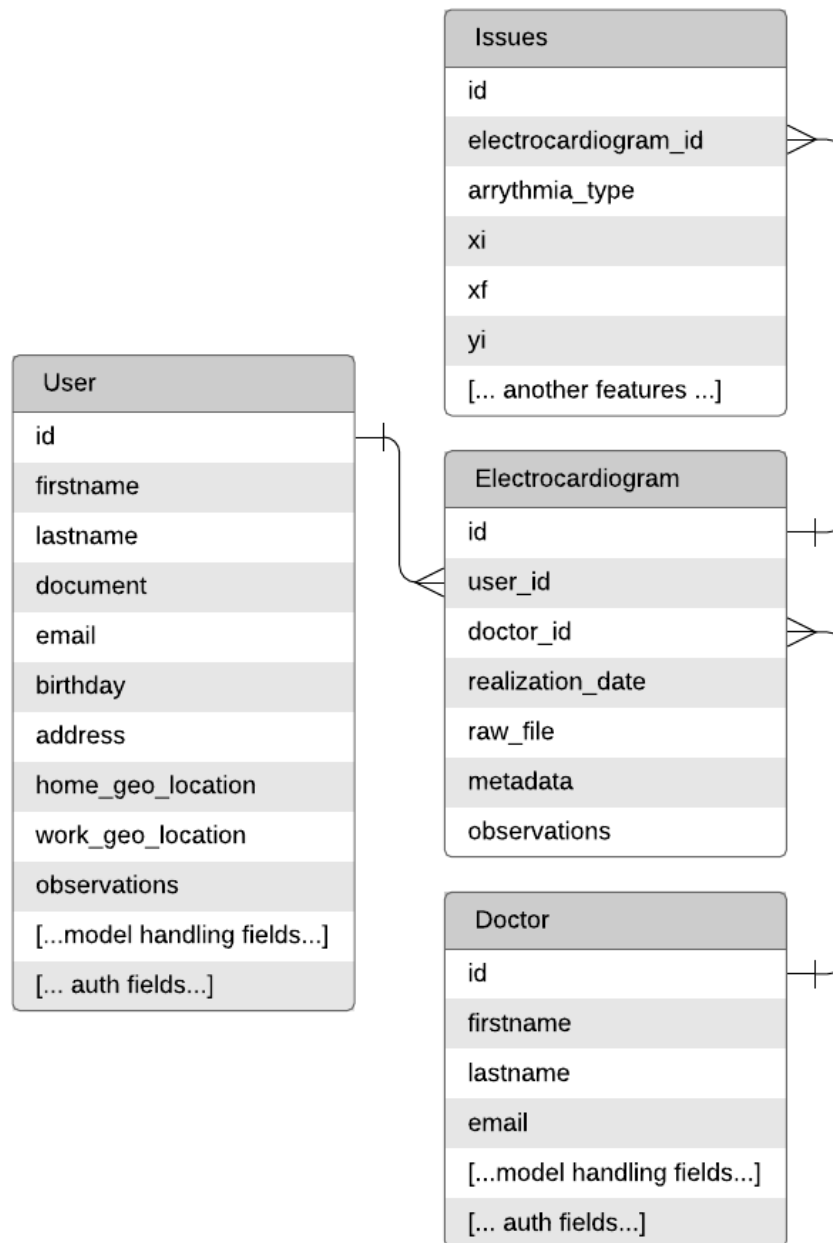


Ilustración 14 - Diagrama entidad-relación

Además de la información básica de los usuarios como nombre, documento de identidad y fecha de nacimiento, se almacena información de login entre las que se encuentran contraseñas encriptadas, fechas del último inicio de sesión y demás campos

proporcionados por la funcionalidad de *Devise*; dicha información es altamente útil para realizar cálculos analíticos de uso y se denotan en el diagrama como [...*auth_fields*...]. También, rails adiciona convenientemente dos campos a los modelos en los que se registra una marca de tiempo en la cual se crea cada instancia y otra en la que se actualiza; estos campos se denotan como [...*model handling fields*...]. Adicional, se almacena información acerca de observaciones que el profesional considere pertinente realizar con respecto a la historia clínica del paciente, anotaciones del proceso realizado, condiciones especiales y demás.

Se almacena también información de latitud y longitud tanto del domicilio como de la ubicación de trabajo. Como se mencionó anteriormente, almacenar esta información permite realizar consultas que puedan mostrar tendencias con respecto a posibles causas geográficas que causen patologías en la población observada. Se almacena en formato de cadenas de texto.

De los doctores se almacena información básica de forma que puedan representar un actor más del sistema. Registrar información con respecto a la especialidad de los doctores en futuras versiones, puede arrojar analíticas con respecto a la precisión de los diagnósticos realizados y una retroalimentación efectiva de la SVN.

Con respecto a los electrocardiogramas, se almacenan los identificadores de usuario y doctor encargado para mantener la integridad referencial; luego se almacena la fecha de realización del examen, la ruta del archivo en entrada del sistema que contiene la información del ECG que se le practicó al paciente. Esta información se procesa y genera metadatos que se almacenan en formato JSON dentro de la base de datos y dentro de registros de un modelo *Issues* que contienen los datos detallados de los hallazgos reportados por la SVM. Esta estrategia facilita las consultas SQL y una posterior retroalimentación mediante la descarga de información estructurada de alto valor para reentrenamientos.

Los metadatos contienen información acerca de la señal después de ser filtrada y de las detecciones con sus respectivas propiedades que realizó la SVM en su análisis. Al finalizar, el profesional puede realizar anotaciones con respecto a los electrocardiogramas como por ejemplo equipos con los que se realizaron los exámenes, información de los

procedimientos y medicamentos aplicados o recomendaciones que se le realizaron al paciente.

3.3 Framework de desarrollo

Ruby on Rails también conocido como RoR o Rails, es el framework sobre el cual se construye esta aplicación, es de código abierto, escrito en el lenguaje de programación Ruby y sigue el paradigma del patrón Modelo Vista Controlador (MVC). Su simplicidad facilita de sobremanera la escritura de rutinas y procedimientos web. El lenguaje de programación Ruby permite la meta programación, de la cual Rails hace uso, lo que resulta en una sintaxis que muchos de sus usuarios encuentran muy legible. Se hace uso de la versión 5.2 y sobre esta se escribe tanto el back como el front.

3.3.1 MVC

Rails sigue el patrón de diseño modelo-vista-controlador que es muy versátil y legible para otros programadores que incluso no conocen el framework. Esta metodología busca modularizar las funciones de tal forma que, se aisle el funcionamiento de la capa de información, de la que atiende las peticiones, y a su vez de las que describen el aspecto visual del aplicativo. El desglose del patrón de diseño se recapitula a continuación:

- **Modelo:** En las aplicaciones web orientadas a objetos sobre bases de datos, el Modelo consiste en las clases que representan a las tablas de la base de datos. De esta forma, el programador genera la estructura de las tablas al principio y el ORM de RoR se encarga de realizar las conexiones. Las clases del Modelo son gestionadas por *ActiveRecord*, por lo general, lo único que tiene que hacer el programador es heredar una de las clases *ActiveRecord::Base*, y el programa averiguará automáticamente qué tabla usar y qué columnas tiene. En lo demás, funciona como cualquier otro modelo en el cual se definen validaciones, restricciones semánticas, métodos de clase y relaciones. En general el modelo

representa las tablas de la base de datos, las reglas de negocio y las migraciones (Que expresan cambios en las BD)

- **Vista:** Es la lógica de visualización, o cómo se muestran los datos de las clases del Controlador. En síntesis, es la capa con la cual los usuarios tienen contacto por lo que se encuentran directamente relacionada con HTML. Existen en la actualidad muchas maneras de gestionar las vistas. El método que se emplea en este caso es con un motor de plantillas llamado ERB (Embedded RuBy) que consta de archivos que siguen la siguiente nomenclatura "archivos.html.erb" y son básicamente fragmentos de código HTML con algo de código en Ruby, siguiendo una sintaxis similar a otros motores como EJT (en el caso de nodejs). Es necesario escribir un pequeño fragmento de código en HTML para cada método del controlador que necesita mostrar información al usuario. El "maquetado" o distribución de los elementos de la página se describe separadamente de la acción del controlador y los fragmentos pueden invocarse unos a otros. También hay soporte para la comunicación asincrónica vía JSON/AJAX.
- **Controlador:** Estos responden a la interacción del usuario e invocan a la lógica de la aplicación. Se encargan de gestionar las peticiones de cara a los usuarios y coordinar las acciones de la lógica del negocio que se encuentran registradas en los modelos, por último, envía todos los datos necesarios para construir las vistas que se le entregarán al usuario. En las aplicaciones web basadas en MVC, los métodos del controlador son invocados por el usuario usando el navegador web a través de procedimientos llamados acciones; estas responden a peticiones realizadas por el usuario a URL's que la aplicación constantemente está escuchando junto con el verbo HTTP determinado (GET, POST, PUT...). La implementación del Controlador es manejada por el *ActionPack* de *Rails*, que contiene la clase *ApplicationController*. Desde aquí se realizan además la mayoría de las validaciones de seguridad con respecto a impedir ataques de CSRF, violación de permisos de usuario, verificación de *login* para acceder a los recursos y CORS.

3.3.2 Paquetes de terceros

Esta aplicación hace uso de un listado de paquetes proporcionado por proveedores externos con sus respectivas autorizaciones de uso. La mayor parte de estas se distribuyen bajo una licencia que autoriza su uso para fines comerciales o educativos y van desde paquetes para el modelado visual de la aplicación hasta la gestión de tareas administrativas del servidor.

- **Devise:** Es un paquete para RoR que facilita la implementación de la autenticación en las aplicaciones. Consta de un conjunto de rutinas, funciones y validaciones que permiten gestionar desde el inicio de sesión y registro de los usuarios, pasando por recuperación de contraseñas, hasta cierres de sesión y bloqueos; por ende, la generación de rutas para las acciones de los usuarios, la validación, el control de las cookies, y demás se encuentra cubierto en el alcance de este paquete. Además, es altamente compatible con los modelos de usuarios existentes.
- **CanCanCan:** Es una librería diseñada para realizar la autorización de acceso a recursos del sistema. Se diferencia de la anterior debido a que esta permite determinar para cada tipo de usuario, las acciones y los recursos a los cuales está autorizado acceder, razón por la cual, se utiliza para establecer reglas con respecto a las funciones que tendrán asignadas los diferentes actores del sistema. Provee múltiples funciones que permiten para cada controlador, determinar si el usuario tiene determinado privilegio, permitir el acceso o notificar de que fue denegado. También ofrece funciones que permiten a las vistas mostrar u ocultar contenido al cual no tiene permitido acceder.
- **Bootstrap 4:** Consiste en un conjunto de herramientas y bibliotecas orientado al desarrollo *front-end*. Contiene plantillas de diseño con tipografía, formularios, botones, cuadros, menús de navegación y otros elementos de diseño basado en HTML y CSS, así como extensiones de JavaScript adicionales. Sobre él, se construye *Bootstrapious Material*, un *template* para desarrollar paneles administrativos a gran escala que inspira su funcionamiento en el aspecto de

“Material Design” en el cual los componentes son altamente usables en dispositivos móviles y de escritorio.

- **Dygraphs.js:** Es una librería de declarativa de alto nivel y con enfoque asíncrono diseñada para visualizar, mediante gráficos, grandes volúmenes de información principalmente de carácter científico. Permite controlar acciones de visualización como realizar *scroll*, *zoom*, escalado vertical y otras funciones. La carga de información se realiza de manera asíncrona, comunicándose al servidor para descargar la información directamente al navegador de forma que la carga inicial del sitio no se ve afectada y se puede seguir interactuando mientras la información del ecg se visualiza.
- **Leaflet:** Es una biblioteca de código fuente abierto, construida en JavaScript y compatible con dispositivos móviles que se utiliza para crear aplicaciones con mapas. Se encuentra entre las principales alternativas para el desarrollo de aplicaciones web con mapas junto a OpenLayers y Google Maps. Se compone de un conjunto de plugins propios y suministrados por la comunidad que permiten la manipulación de capas mediante tiles que permiten dibujar marcadores, figuras, superponer otras capas, gestionar geolocalización y muchas otras características. Los mapas también son actualizados por la comunidad que constantemente está actualizando información de vías, establecimientos y lugares de interés.

3.4 Módulos

3.4.1 Usuarios

3.4.1.1 Autenticación y autorización

El módulo de usuarios gestiona desde la autenticación hasta el almacenamiento de datos de los diferentes actores del sistema (pacientes y doctores). Se encarga de autorizar el

acceso a los diferentes recursos del sistema según el rol que tienen los usuarios y proporcionar información acerca de pacientes y doctores cuando se le necesite.

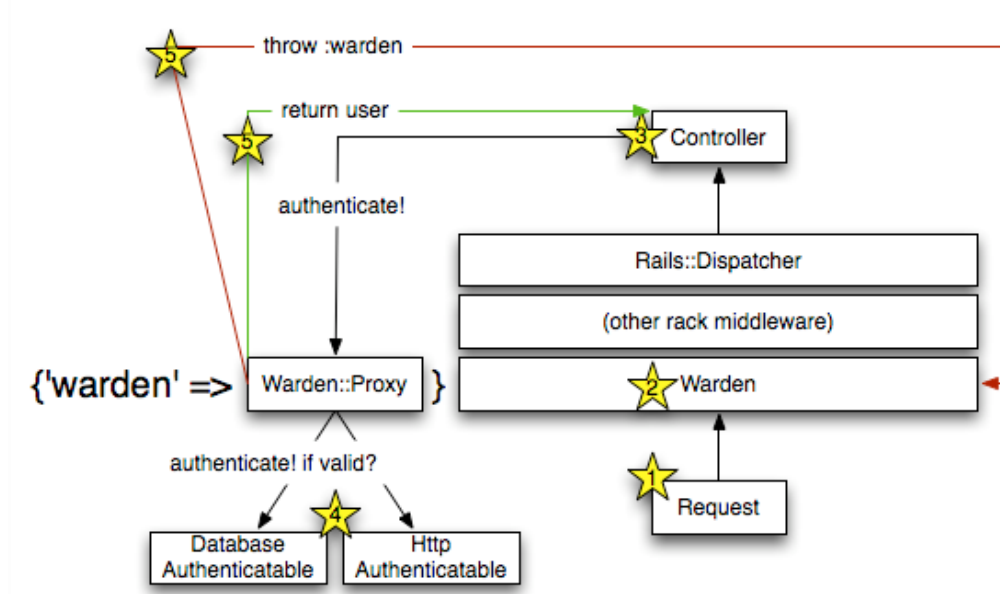


Ilustración 15 - Autenticación con Devise-Warden

Devise basa su funcionamiento en una librería de autenticación a más bajo nivel llamada Warden, la cual se encarga de llevar las solicitudes a lo largo de toda la pila de procesos para verificar la autenticidad de las peticiones. En este modelo, Devise delega la tarea de verificar que la tupla email-contraseña sea válida al proceso de Warden, quien pasa a través de las capas hasta el proxy el cual determina si la autenticación debe realizarse cotejando las credenciales con la base de datos (*database_authenticable*) o si se trata de una autenticación de tipo HTTP. Una vez hecho esto, el proxy responde con la instancia del usuario que se está autenticando en caso de que las credenciales fueran ingresadas exitosamente, y con un símbolo *warden* en caso contrario. Al finalizar, al usuario se le entrega una *cookie* de sesión que le permitirá navegar a lo largo del sitio sin ingresar credenciales nuevamente.

Las *cookies* son usualmente son pequeños archivos de texto y se almacenan en el directorio del navegador. Las *cookies* se crean cuando el sitio web que se está visitando desea usar un pequeño almacenamiento con el fin de personalizar la experiencia, para

hacer un seguimiento de los movimientos por el sitio, ayudar a reanudar la navegación, recordar el inicio de sesión y selección de tema, preferencias y otras funciones de personalización. Usualmente no contienen demasiada información más allá de unos breves datos acerca del sitio web, la duración de la cookie, los efectos y un número único.

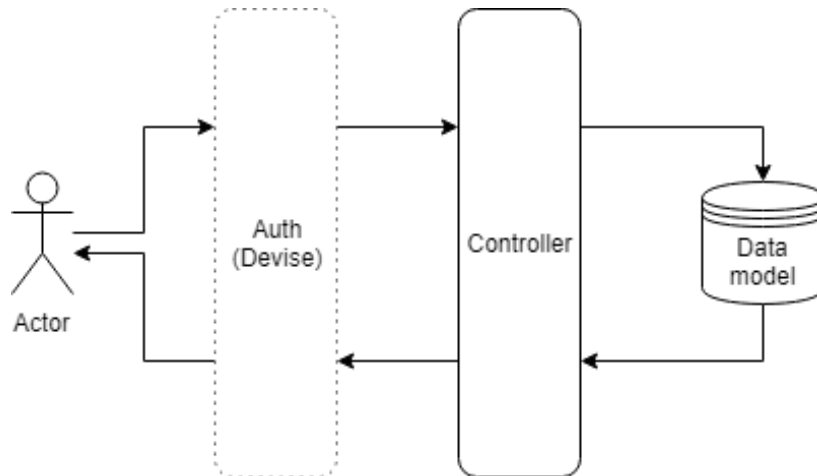


Ilustración 16 - Modelo de accesos autorizados a recursos

Cuando un usuario desea acceder a un recurso del sistema, el módulo de autenticación consulta la *cookie* de sesión que se generó en el proceso de *login*, comprueba que no se encuentre expirada, identifica al usuario en el sistema y posteriormente pasa a verificar los permisos para determinar si puede acceder a los recursos que está solicitando, utilizando CanCanCan.

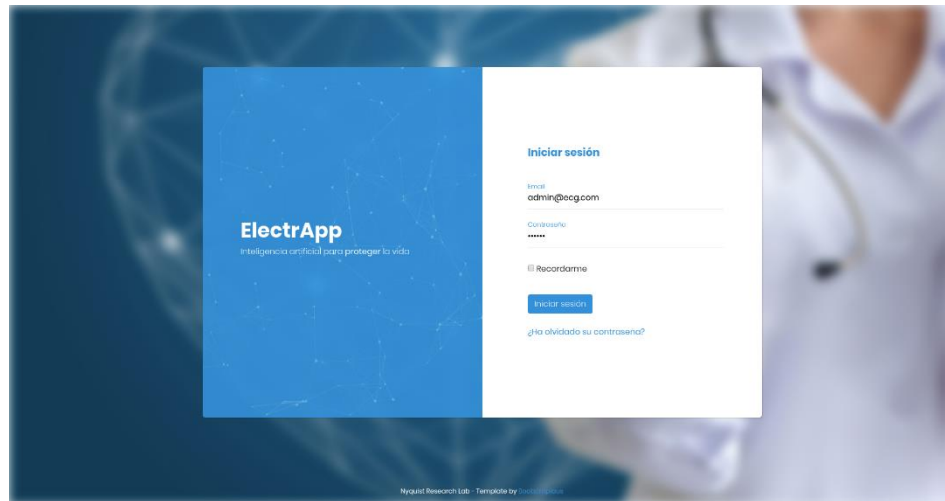


Ilustración 17 - Pantalla de inicio de sesión

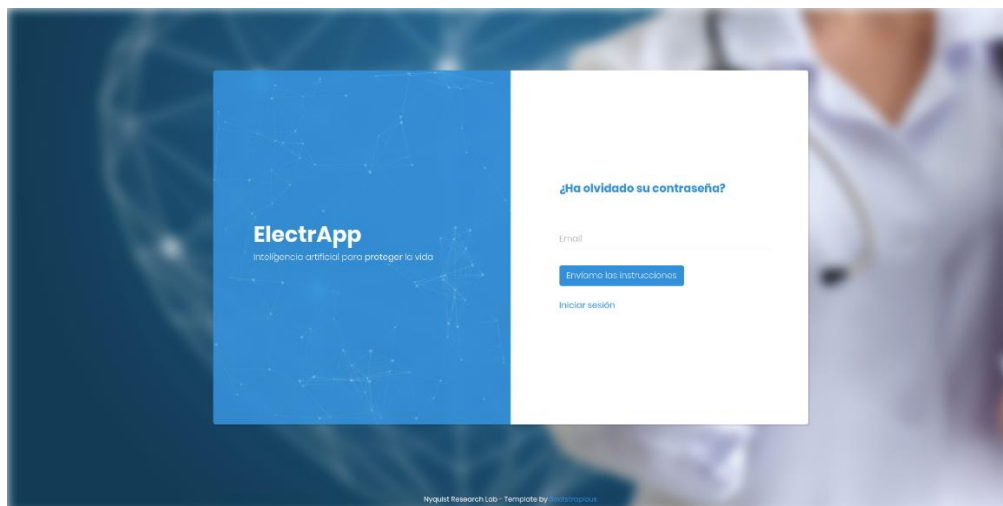


Ilustración 18 - Pantalla de recuperación de cuentas

3.4.1.2 Gestión de pacientes

Los profesionales disponen de un panel desde el cual pueden gestionar los usuarios que se encuentran registrados. Esto les permite crear, actualizar, eliminar o visualizar información básica de los usuarios que tienen además de llevar registro de las observaciones que se realizan o se deban tener en cuenta.

38 Construcción de un prototipo de un sistema de información para la visualización del prediagnóstico de algunos tipos de arritmias

Pacientes							
Documento	Primer nombre	Apellido	Fecha de nacimiento	Rol	Comentarios	Teléfono	
1088022167	Pedro	Martinez	1970-05-19	Paciente		789-4562	  
1650246	Harold	Pinzon	1999-11-03	Paciente		111-5645	  
2230156	Tatiana	Cardona	1955-03-12	Paciente		022-3156	  

Ilustración 19 - Consolidado de pacientes de un profesional

En el panel izquierdo de detalles se pueden observar los campos básicos de usuario como numero de identificación, nombres, fecha de nacimiento, información de contacto, etc. Desde allí mismo se puede ir al menú de edición para modificar los datos de todos los paneles.

En el panel derecho se puede visualizar la información de ubicación tanto de domicilio como de trabajo que se usa mas adelante para retroalimentar el módulo de consultas geoespaciales. Se utilizan mapas Leaflet y se usa el click para posicionar el marcador en la ubicación exacta; también se ofrecen controles de zoom y búsquedas dentro del mapa.

En el panel inferior se observa el histórico de electrocardiogramas realizados para un determinado paciente. Este incluye botones para ir al detalle del ecg.

Usuarios

Detalles

Documento: 1068022167

Primer nombre: Pedro

Apellido: Martinez

Fecha de nacimiento: 1970-05-19

Rol: pac

Comentarios:

Teléfono: 7894562

[Atrás](#) [Editar](#)

Datos de ubicación

Home loc:

Work loc:

Electrocardiogramas

Paciente	Profesional	Fecha de realización	Archivo RAW	Realimentación

Ilustración 20 - Datos del paciente

3.4.1.3 Gestión de electrocardiogramas

Este módulo permite realizar la gestión de electrocardiogramas creados por un determinado profesional. Se puede editar la información acerca de observaciones, fecha de realización del examen y otra información.

[Inicio](#) / [Electrocardiogramas](#)

Electrocardiogramas

Lista

Paciente	Profesional	Fecha de realización	Archivo RAW	Realimentación	
Pedro Martinez	Gonzalo Clifuentes	2019-06-29 15:19:00 - 0500			Ver Editar Eliminar
Harold Pinzon	Gonzalo Clifuentes	2019-07-11 10:56:00 - 0500			Ver Editar Eliminar
Tatiana Cardona	Gonzalo Clifuentes	2019-07-11 11:50:00 - 0500			Ver Editar Eliminar

Ilustración 21 - Consolidado de electrocardiogramas

Esta vista es similar a la que se encuentra en el panel de información de los pacientes con la salvedad de que en este se encuentran registrados todos los que se crearon por el

profesional, ordenados por la fecha en que se crearon los registros. El botón azul permite visualizar el detalle del electrocardiograma y desplegar los módulos para la retroalimentación y análisis de señales. El botón negro permite editar los parámetros generales del electrocardiograma y el botón rojo permite eliminar el registro.

Dentro de la vista del detalle de los electrocardiogramas se presenta toda la información recolectada por la máquina de soporte y los datos proporcionados por el profesional, de manera estructurada y por paneles. La información estática se carga inicialmente mientras que el contenido dinámico del gráfico se descarga a través de otro hilo mediante una solicitud AJAX; cabe destacar que por asuntos de visualización se muestran los primeros 10 segundos de la señal, pero se puede consultar su totalidad haciendo doble-clic sobre la señal y explorar otras zonas de la misma.

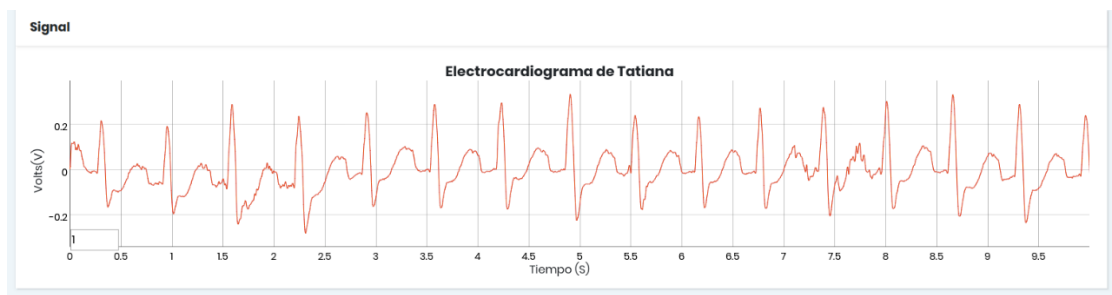


Ilustración 22 - Visualización de un ECG

Los controles de esta permiten también ajustar la escala vertical y horizontal de forma que se puedan apreciar por completo todos los detalles de la señal. Otra de las funcionalidades es el desplazamiento lateral a lo largo de la señal. El rendimiento de la visualización, a pesar de la longitud (una señal de apenas 30 minutos genera más de 650.000 puntos) se carga en menos de 5 segundos a partir de la renderización inicial y su experiencia de uso es fluida.

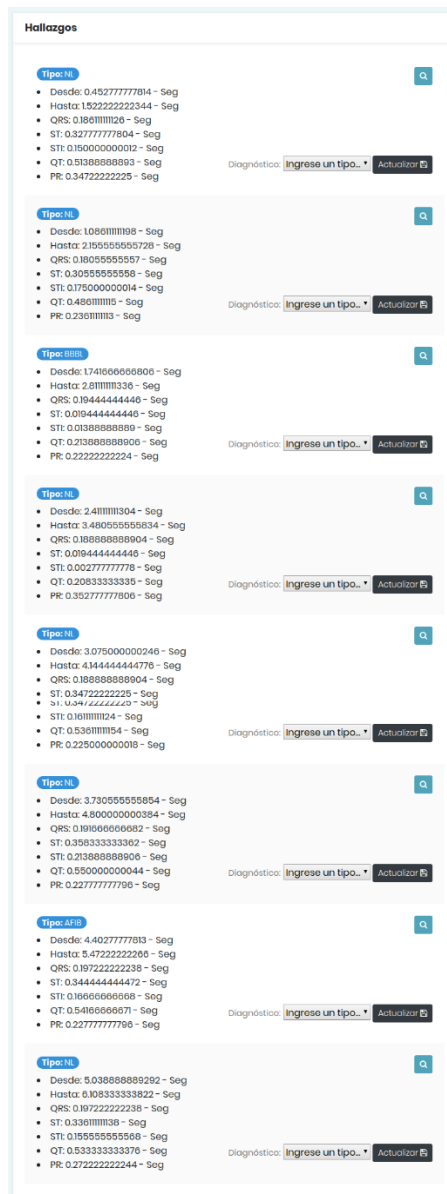


Ilustración 23 - Algunos hallazgos encontrados en un análisis

El panel de hallazgos referencia al modelo de *issues* en base de datos. Aquí se encuentra registrado el detalle de cada hallazgo encontrado por la SVM y de forma que el profesional puede analizar el detalle de cada una; estudiar las magnitudes de los segmentos encontrados y retroalimentar las estimaciones determinando el tipo de arritmia. Estas retroalimentaciones son de alto valor pues permiten incrementar la precisión de las clasificaciones en próximas versiones del sistema; implementar técnicas más avanzadas

o combinar la SVM con procesos convolucionales que permitan extraer características más precisas de los segmentos y por ende de los hallazgos reportados.

Las arritmias pueden visualizarse usando el botón de lupa ubicado en la parte superior derecha del panel; esto permite que el panel superior ajuste su posición y zoom para enfocar exactamente la parte de la señal requerida y estudiar en detalle los hallazgos reportados. La cuadrícula se encuentra numerada y escalada en los niveles de zoom por lo que el profesional podrá saber con precisión las magnitudes en cada punto de la señal y obtener una mejor valoración.

Actualmente, la retroalimentación de la SVM no se realiza en tiempo real. En lugar de ello, las etiquetas diagnosticadas por los profesionales son descargadas cada cierto tiempo de forma que se puedan reajustar los pesos posteriormente y actualizarlos en la evaluación. Como alcance futuro, la retroalimentación en tiempo real podría dar lugar a técnicas de aprendizaje auto supervisado y obtener por cada etiqueta un incremento en la precisión de forma inmediata.



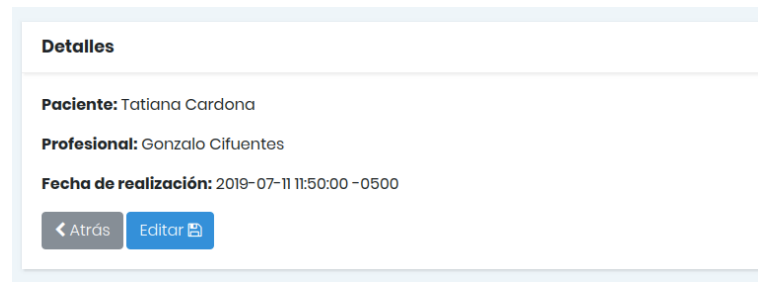
Tipo: NL

- Desde: 2.41111111304 - Seg
- Hasta: 3.480555555834 - Seg
- QRS: 0.188888888904 - Seg
- ST: 0.019444444446 - Seg
- STI: 0.002777777778 - Seg
- QT: 0.20833333335 - Seg
- PR: 0.352777777806 - Seg

Diagnóstico:

Ilustración 24 - Detalle de una arritmia encontrada

El panel derecho presenta la información básica del examen realizado para propósitos de consulta; desde allí se puede acceder igualmente al panel que permite editar la información del electrocardiograma.



Detalles

Paciente: Tatiana Cardona

Profesional: Gonzalo Cifuentes

Fecha de realización: 2019-07-11 11:50:00 -0500

[← Atrás](#) [Editor](#)

Ilustración 25 - Información adicional el ECG

La carga y edición de los electrocardiogramas se hace a través de un sencillo módulo en el cual se registran los datos básicos del electrocardiograma y una breve descripción de las observaciones del mismo. El resto del procesamiento se realiza una vez se envía el formulario al aplicativo.

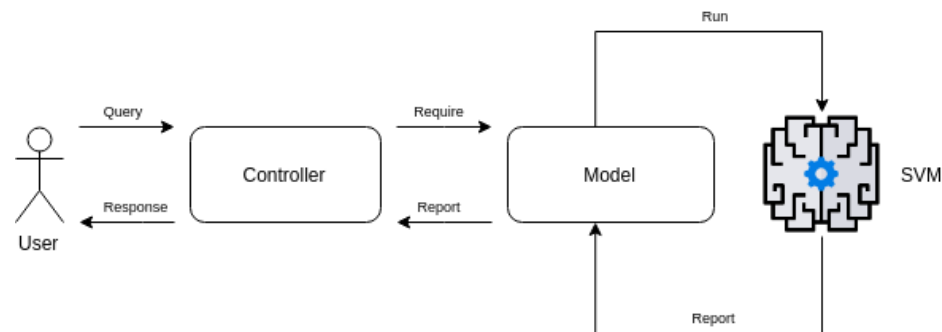


Ilustración 26 - Interconexión entre módulos

Una vez se recibe la información de los electrocardiogramas, la aplicación desde el nivel del modelo ejecuta *On Demand* la SVM entregándole como entrada la información del ECG. Esta realiza las operaciones de clasificación y retorna la señal procesada y los hallazgos encontrados. Cuando múltiples instancias de ECG son cargadas, múltiples instancias de la SVM son lanzadas también, cada instancia escribe en disco duro la información encontrada y se etiqueta mediante el id del ECG, así se elimina la posibilidad de que dos ecg diferentes estén escribiendo sobre el mismo archivo lo cual causaría condiciones de carrera por el acceso a los recursos; esto permite asegurar que el recurso tanto de proceso como de acceso a disco se encuentra disponible todo el tiempo.

Editar

Paciente: 1088022167 - Pedro Martinez

Profesional: 1088022457 - Gonzalo Cifuentes

Fecha de realización: 29 junio 2019 15:19

Archivo RAW: Choose File No file chosen

< Atrás Guardar

Ilustración 27 - Carga de ECG

3.4.1.4 Consultas espaciales

La información suministrada genera contenido valioso que puede ser aprovechado en la medida en que mas registros poblen la base de datos. Las técnicas de analíticas de datos proporcionan una oportunidad de analizar diferentes tipos de patrones que puedan arrojar luz sobre multiples fenómenos relacionados con las patologías que presentan los pacientes. Estos datos pueden indicar crecimientos de diferentes tipos de arritmias que puedan asociarse a poblaciones que habiten o frecuenten determinados sitios, lugares que se perfilen como focos donde se presentan mayores casos reportados de arritmias, estilos de vida que haga a las personas mas propensas a padecer un determinado tipo de arritmia y mucha mas información.

Teniendo en cuenta esto, se construyo un módulo que permite realizar consultas rapidas acerca de la ubicación de pacientes que cumplen con determinados criterios. Entre estos se encuentra visualizar en el mapa la localización de domicilio y lugar de residencia de pacientes que poseen ciertos tipos de arritmias. Estas consultas se realizan mediante solicitudes AJAX y los resultados son renderizados de inmediato sobre el mapa leaflet.

La información se agrupa convenientemente por colores de forma que se pueda estimar los tiempos que pasan las personas en cada uno de los lugares, también se realiza un convexhull sobre los puntos de residencia y otro sobre los puntos de trabajo para intentar encontrar agrupaciones o intersecciones criticas entre cada una de las geometrías;

también es útil para encontrar clústers o focos que produzcan arritmias en las personas que frecuentan tales sitios.

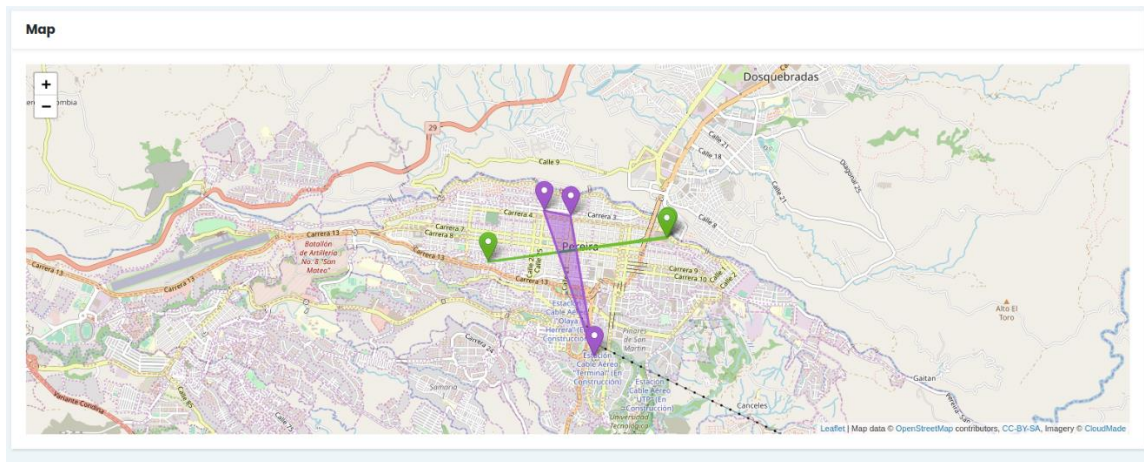


Ilustración 28 - Ejemplo de consulta en el mapa

En el panel superior de la vista se encuentra un mapa mostrando los puntos encontrados según los criterios especificados. Estos usan el color verde para indicar los lugares de residencia y el color púrpura para indicar los lugares de trabajo de los pacientes que padecen los tipos de arritmias seleccionados. Si un paciente presenta múltiples tipos de arritmias el marcador no se dibuja multiples veces sino una sola vez.

En esta consulta de referencia se encuentran 3 pacientes que presentan los tipos de arritmia NL. Los resultados se pueden ajustar en cualquier momento seleccionando desde el panel inferior de filtros otros tipos de arritmia y pulsando en el boton de consulta. Los tiempos de respuesta a estas consultas es casi inmediato para consultas que arrojen menos de 100.000 registros aproximadamente. A partir de allí, se empieza a experimentar una pequeña latencia de unos 2 segundos debido al tiempo que le toma a Postgres realizar la consulta y el tiempo que tarda la red en descargar la información.

4. Pruebas de Funcionalidad y Rendimiento de la Aplicación.

4.1 Pruebas de carga

Para las pruebas de carga el sistema es ejecutado en un sistema que posee la siguiente ficha técnica:

- **Sistema operativo:** Ubuntu 18.04 Bionic Beaver
- **Procesador:** Intel Core i5 i5-8300H 2.3Ghz 8 Cores
- **Memoria RAM:** 16GB
- **Espacio en disco para aplicación:** 50 GB
- **Ruby:** Versión 2.6
- **Servidor:** Puma – 7 workers y 4 hilos por cada uno
- **Rails:** Versión 5.2
- **Matlab:** Versión R2018

Se realizaron diferentes pruebas en las cuales se analizó el desempeño de la aplicación en diferentes pantallas. Se utiliza *JMeter* para simular un bloque de 100 por segundo a diferentes URL de la aplicación. También se realizan pruebas de carga a la SVM con el fin de identificar el tiempo que tarda en procesar diferentes instancias de prueba, sin embargo estas pruebas no se realizan con el mismo volumen de datos que las anteriores, esto se debe a que únicamente se disponen 7 hilos para pruebas concurrentes (se reserva uno para funcionamiento del sistema operativo) y el procesamiento de cada archivo tarda un tiempo considerable, por lo cual, las demás tareas de análisis se colocarían en cola y no se obtendrían resultados concluyentes.

4.1.1 Pruebas de carga de autenticación

Se realizó un conjunto de pruebas sobre la acción para autenticar usuarios en el sistema. Se simularon pruebas de login para determinar los tiempos de respuesta del sistema ante una masa de usuarios de 100 intentando autenticarse en el sistema en un segundo durante 5 segundos. Estos fueron los resultados:

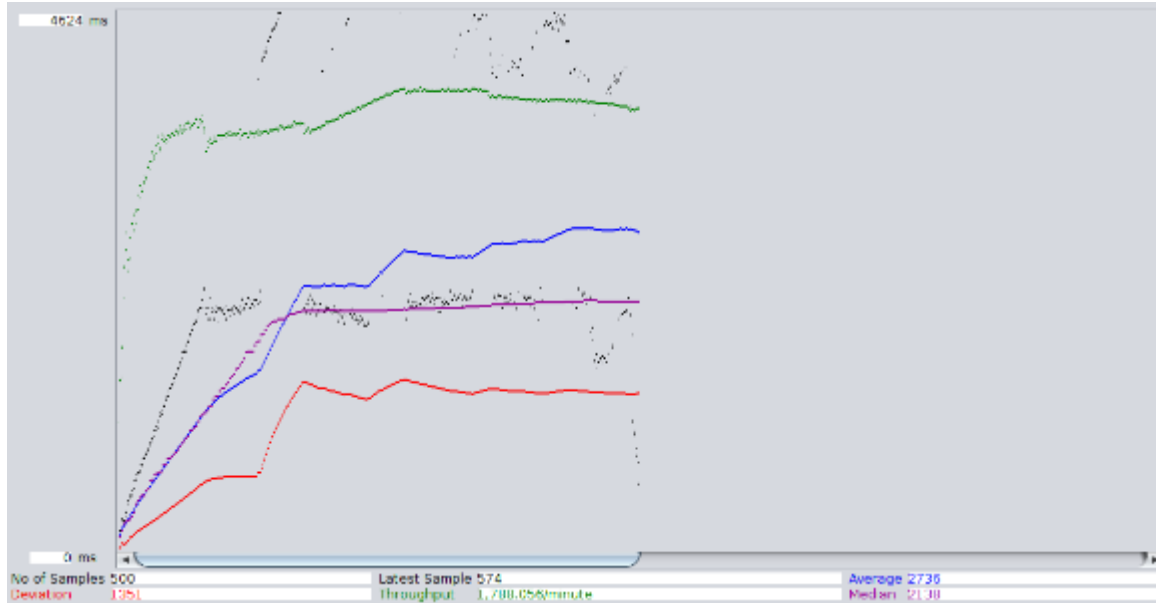


Ilustración 29 - Tiempos de respuesta a login

116	166	266	226	289	244	253	326	400	422
471	449	520	471	534	605	595	670	648	661
677	739	785	798	733	800	840	829	867	922
962	893	936	985	1032	1060	1056	1032	1105	1185
1157	1195	1168	1241	1294	1237	1327	1320	1394	1369

Tabla 1 - Tiempos de las primeras 50 peticiones de login en segundos

4.1.2 Pruebas de carga en consultas a electrocardiogramas

Se realizó un conjunto de pruebas a las consultas de electrocardiogramas con la intención de establecer los tiempos que tarda el sistema en responder, contando el tiempo que toma la base de datos en realizar una respuesta con un listado de electrocardiogramas con un

conjunto de criterios seleccionado. Se realizaron 100 peticiones por segundo durante 5 segundos y estos fueron los resultados.

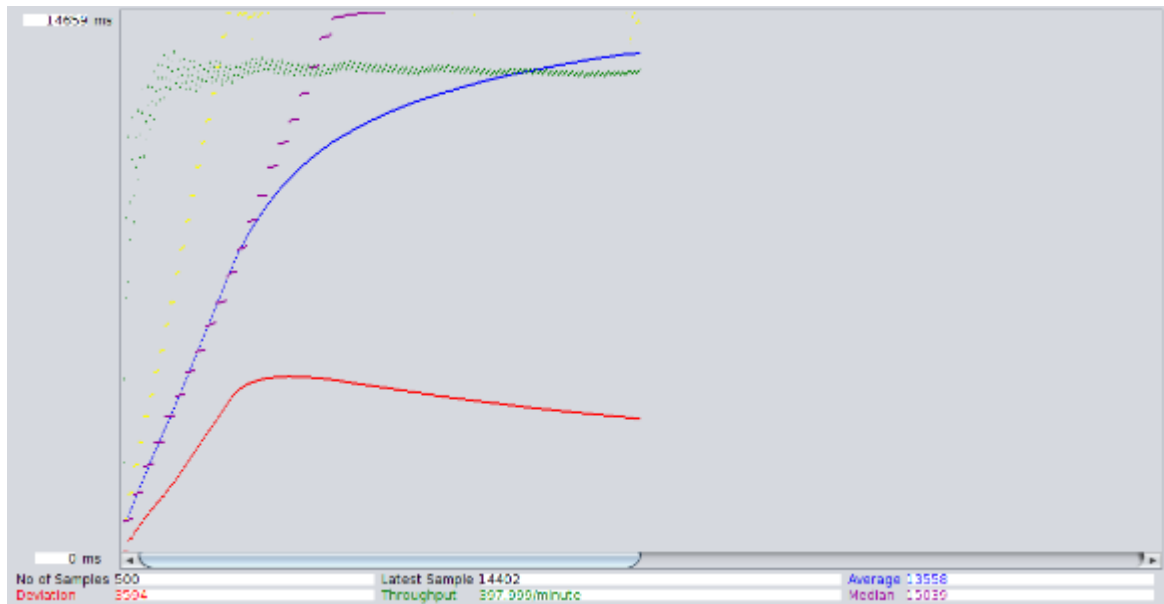


Ilustración 30 - Tiempos de respuesta a consulta de electrocardiogramas

871	858	846	845	818	1615	1601	1556	1540	2366
2344	2302	2338	2304	2973	2970	2963	2956	2949	3687
3664	3672	4236	3655	4235	4245	4258	4248	4916	4914
4869	4870	5477	5492	5446	5414	5441	6226	6189	6187
6139	6814	6787	6747	6768	6778	7618	7609	7549	7592

Tabla 2 - Tiempos de las primeras 50 peticiones a electrocardiogramas

4.1.3 Pruebas de carga al procesamiento de la SVM

Con el fin de estimar el nivel de carga que puede soportar se realizaron pruebas sobre el proceso de identificación de arritmias por parte de la SVM. El volumen de estas pruebas es mucho menor debido a dos circunstancias:

- La primera es debido a las restricciones de características de hardware de la máquina. Solo se pueden procesar simultáneamente tantas instancias de SVM

como hilos tenga la máquina y hay que excluir uno para el funcionamiento normal del sistema operativo y el servidor WEB.

- El sistema tiene un tiempo límite de protección de 30 segundos en el que suspende el proceso si la SVM tarda demasiado en responder. Esto ayuda a prevenir que el sistema no pueda responder en caso de errores de ejecución de la SVM.

Los resultados obtenidos realizando identificaciones fueron los siguientes:

Histograma de pruebas - 1635 Puntos de entrada

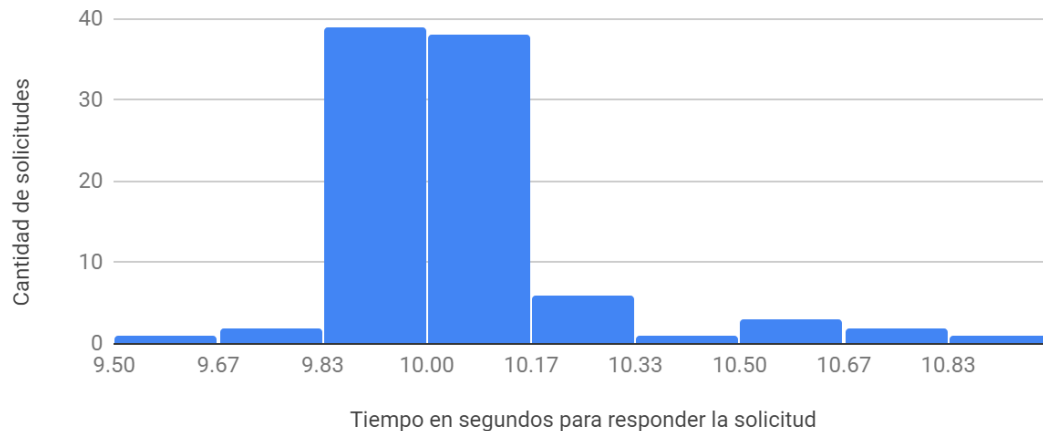


Ilustración 31 - Tiempos de respuesta analizando 1635 puntos de entrada

Histograma de pruebas - 2560 Puntos de entrada

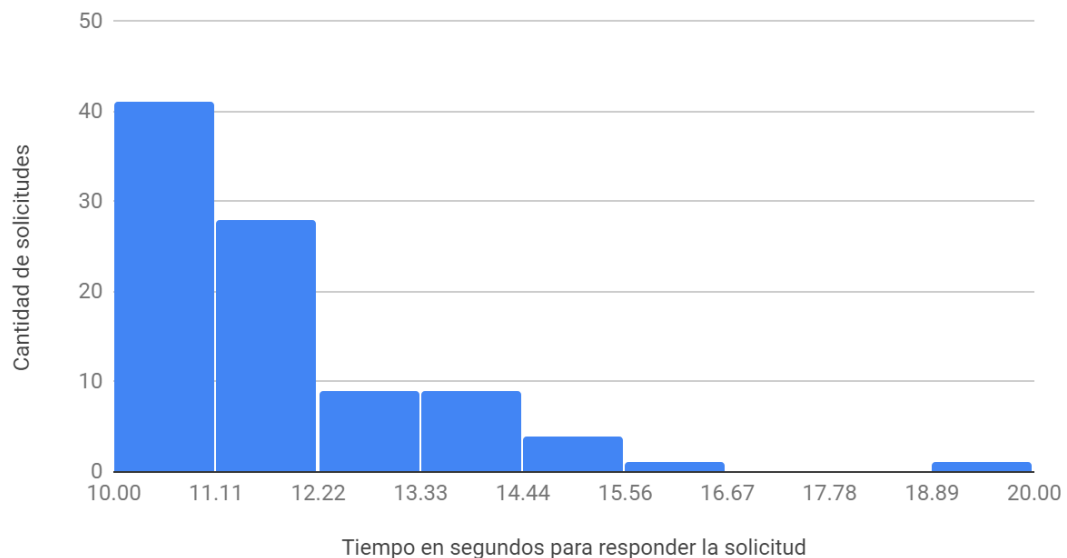


Ilustración 32 - Tiempos de respuesta analizando 2560 puntos de entrada

Cabe resaltar que estos resultados pueden verse afectados por procesos del sistema operativo que hayan incurrido en un consumo de CPU y que por tanto hayan introducido ruido en las mediciones. En cualquier caso, se realizaron 100 pruebas por cada instancia mencionada en las que la máquina únicamente desempeño las funciones de reconocimiento y servicio web. Los tiempos de escritura en disco también pueden verse levemente afectados en este procedimiento.

5. Prueba de operación del sistema con información de la base de datos de arritmias.

Se realizó una prueba adicional en la cual se desarrollaron los procesos de manera independiente para verificar que el servicio web y todos sus componentes respondieran de forma correcta y ofrecieran al usuario los datos que debía arrojar. Entre ellas están pruebas a los servicios de usuarios, servicios de carga y visualización de electrocardiogramas y consulta geográfica de pacientes por tipos de arritmia.

5.1 Pruebas de usuarios

5.1.1 Crear un paciente

Se desea verificar que el sistema almacena correctamente los datos de un usuario ingresado en el sistema. Se procede a construir los datos de prueba para un paciente, utilizando una cuenta de profesional que esta previamente autenticado en el sistema.

Prueba: Registrar usuario

Precondiciones: Login previo como profesional

Procedimiento: Abrir el panel de nuevo registro en pacientes y diligencias los siguientes datos:

Documento	16532101
Nombre	Wilson
Apellido	Cardona
Fecha de nacimiento	15/11/1972
Teléfono	6421352
Comentarios	Ninguno
Email	wilcardona19@gmail.com

Resultado esperado: El sistema debe responder con la vista de detalles con el usuario creado en el sistema.

Resultado real: Exitoso

The screenshot displays a patient registration form with two main sections: 'Información básica' (Basic Information) and 'Datos de ubicación' (Location Data). The 'Información básica' section includes fields for Document (16532101), First Name (Wilson), Last Name (Cardona), Email (wilcardonal9@gmail.com), Date of Birth (15/11/1972), Comments (Ninguna), Photo (Choose File), and Phone (6421352). The 'Datos de ubicación' section shows two maps: 'Homeloc' and 'Workloc', both with location pins. Navigation buttons 'Atrás' and 'Guardar' are at the bottom left.

Ilustración 33 - Pruebas de registro de paciente

The screenshot shows a user management interface. At the top, a green message bar states 'El usuario se creó exitosamente.' (The user was created successfully). Below this is a breadcrumb 'Inicio / Usuarios' and a section header 'Usuarios'. The 'Usuarios' section contains a 'Detalles' (Details) panel for the user 'wilcardonal9@gmail.com', displaying their document number, name, last name, date of birth, role, comments, phone, and email. To the right of the details panel is the 'Datos de ubicación' (Location Data) section, which includes two maps: 'Homeloc' and 'Workloc', both with location pins. Navigation buttons 'Atrás' and 'Editar' are at the bottom left of the details panel.

Ilustración 34 - Evidencia de respuesta exitosa en registro de paciente

5.1.2 Modificar un paciente existente

Se desea verificar que el sistema modifica correctamente los datos de un usuario ingresado en el sistema. Se procede a construir los datos de prueba para un paciente ya registrado en el paso anterior, utilizando una cuenta de profesional que esta previamente autenticado en el sistema.

Prueba: Modificar usuario

Precondiciones: Login previo como profesional

Procedimiento: Abrir el panel de nuevo registro en pacientes y diligencias los siguientes datos:

Documento	16532101
Nombre	Wilson
Apellido	Cardona <u>Ramirez</u>
Fecha de nacimiento	15/11/1972
Teléfono	6421352
Comentarios	Ninguno
Email	wilcardona19@gmail.com

Resultado esperado: El sistema debe responder con la vista de detalles con el usuario modificado en el sistema.

Resultado real: Exitoso

Usuarios - Editar

Información básica

Documento: 16532101

Primer nombre: Wilson

Apellido: Cardona Ramirez

Email: wilcardona19@gmail.com

Fecha de nacimiento: 15 / noviembre / 1972

Rol: pac

Comentarios: Ninguno

Foto: Choose File No file chosen

Teléfono: 6421352

[Atrás](#) [Guardar](#)

Datos de ubicación

Homeloc

Workloc

Ilustración 35 - Prueba de modificación de un paciente

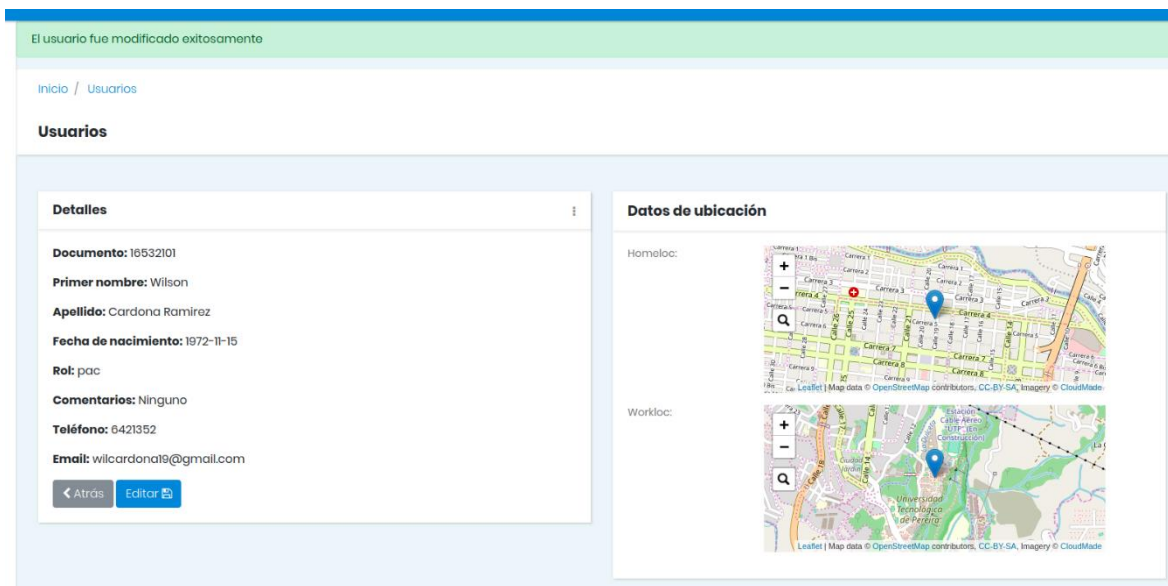


Ilustración 36 - Evidencia de modificación exitosa de un paciente

5.1.3 Eliminar un paciente existente

Se desea verificar que el sistema elimina correctamente los datos de un usuario ingresado en el sistema. Se procede a utilizar los datos de prueba para un paciente ya registrado en el paso anterior, utilizando una cuenta de profesional que esta previamente autenticado en el sistema.

Prueba: Eliminar usuario

Precondiciones: Login previo como profesional

Procedimiento: Abrir el panel de pacientes y hacer clic en el botón de eliminar

Resultado esperado: El sistema debe responder con la notificación de eliminación de usuario

Resultado real: Exitoso

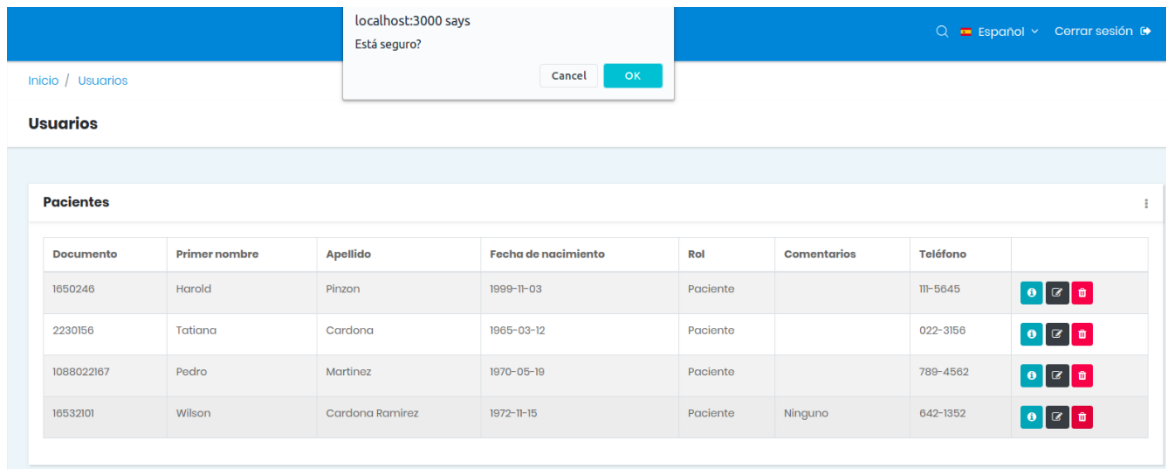


Ilustración 37 - Prueba de eliminar un paciente

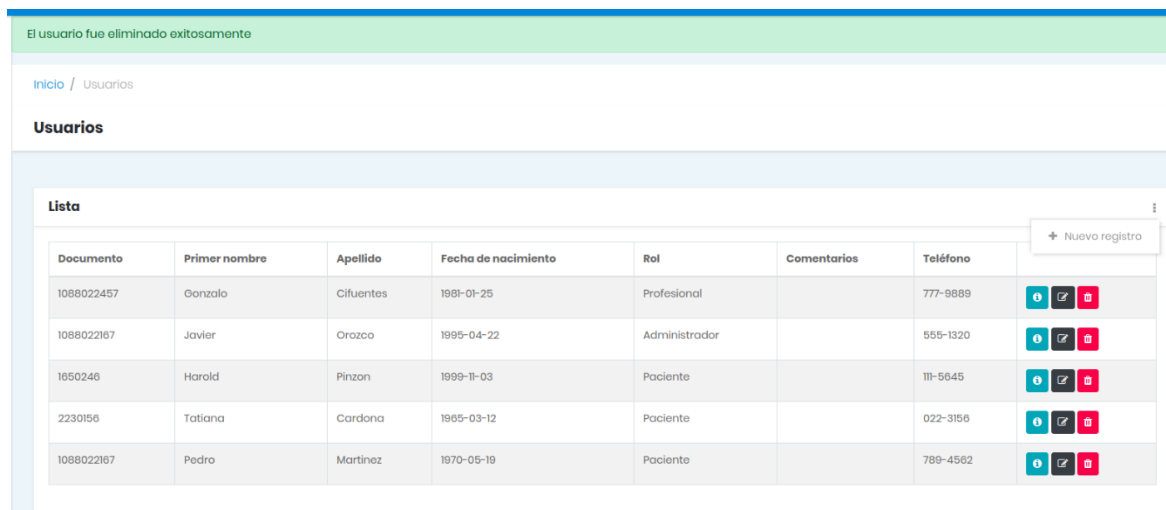


Ilustración 38 - Evidencia de eliminación de paciente

5.1.4 Prueba de carga de electrocardiograma

Se desea verificar que el sistema procesa correctamente los datos de un ecg ingresado en el sistema. Se procede a construir los datos de prueba para un paciente, utilizando una cuenta de profesional que esta previamente autenticado en el sistema.

Prueba: Registrar ECG

Precondiciones: Login previo como profesional

Procedimiento: Abrir el panel de nuevo registro en ecg y diligenciar los siguientes datos:

Paciente	Pedro	Martínez
Profesional	Gonzalo	Cifuentes
Fecha de realización	29/06/19	
Archivos de entrada	109m.mat,	109m.txt,
Tipo	L	109.info

Resultado esperado: El sistema debe responder con la vista de detalles con el electrocardiograma creado en el sistema.

Resultado real: Exitoso

Electrocardiogramas

Editar

Paciente	1088022167 - Pedro Martinez ▾
Profesional	1088022457 - Gonzalo Cifuentes ▾
Fecha de realización	29 ▾ junio ▾ 2019 ▾ — 15 ▾ : 19 ▾
Input file	<input type="button" value="Choose File"/> 109m.txt
Input file mat	<input type="button" value="Choose File"/> 109m.mat
Input file info	<input type="button" value="Choose File"/> 109m.info
Type	L ▾

Ilustración 39 - Prueba de carga de electrocardiograma

Para este caso particular, se hace el análisis independiente para verificar la confiabilidad de los datos. Una vez ejecutada la SVM se procesa a inspeccionar la salida para determinar la clasificación que esta realiza. Estos son los resultados de la clasificación en formato CSV:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	x1	y1	xf	yf	avg_riseTime	avg_fallTime	Rqm	Rqb	Rsb	Rsm	RR
1	0.4527777778	-0.0956044581	1.5222222223	-0.0673201617	0.0472222222	0.0527777778	0.0072319126	-1.1918157125	0.2627317042	-0.0011275552	0.64
2	4	471346	4	564503	6	2	0.049696	213	322629	8914	6
3	1.0861111119	-0.1176570710	2.1555555572	-0.0749358433	0.0527777778	0.0500000000	0.0164796501	-1.6994055744	0.3548283072	-0.0012588292	0.636
4	8	6952	8	2974	2	4	35067	6107	821	0048923	2
5	1.7416666680	-0.1709226593	2.8111111133	-0.0199178538	0.0472222222	0.0583333333	0.0118065589	-1.9355746350	1.1676088181	-0.0059259182	0.655
6	6	28351	6	281204	6	8	38807	3164	426	8135299	8
7	2.4111111130	-0.1115531557	3.4805555583	-0.0056153447	0.0527777778	0.0500000000	0.0088444681	-1.3927703114	0.5615124889	-0.0023228621	0.669
8	5	32248	4	6550852	2	4	466334	5336	521	1304277	8
9	3.0750000024	-0.0396897688	4.1444444477	-0.000397387	0.0500000000	0.0500000000	0.0095808185	-1.5011211024	0.7049065247	-0.0030250536	0.663
10	6	799709	6	72669313	4	4	720373	6604	8605	1807995	2
11	3.7305555585	-0.0535379909	4.8000000038	-0.0063825135	0.0583333333	0.0472222222	0.0106434286	-1.6440391490	1.7347844980	-0.0085544329	0.658
12	4	784508	4	55787	8	6	38218	6166	977	5754992	6
13	4.4027777813	-0.0447155260	5.4722222266	-0.0104336984	0.0555555556	0.0527777778	0.0119783637	-1.8701182848	1.8215419782	-0.0089969786	0.672
14	8	610092	5	321563	2	2	88547	2988	084	8489937	6
15	5.0388888829	-0.0722400588	6.1083333382	-0.0056086813	0.0444444444	0.0555555556	0.0097498407	-1.5512093801	0.8457181737	-0.0039468881	0.633
16	2	983252	2	2286467	8		222694	2824	4629	0687519	4

Ilustración 40 - Primera porción de datos de detección de arritmia

5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
avg_riseTime	avg_fallTime	Rqm	Rqb	Rsb	Rsm	RR	QRS_segment	stsegment	stisegment	qtinterval	pr_interval	pr_segment	Arritmia
0.0472222222	0.0527777778	0.0072319126	-1.1918157125	0.2627317042	-0.0011275552	0.6444444449	0.1861111112	0.3166666669	0.1750000000	0.5027777778	0.3833333336	0.2694444444	NR
6	4	049696	213	8914	322629	8	6	2	4	8	4	6	
0.0527777778	0.0500000000	0.0104796501	-1.6994055744	0.3548283072	-0.0012588292	0.6361111116	0.1805555557	0.3000000002	0.2000000001	0.4805555559	0.3944444447	0.2916666669	NR
2	4	35067	6107	821	0048923	2	4	6	4	6	6	6	
0.0472222222	0.0583333333	0.0118065589	-1.9355746350	1.1676088181	-0.0059259182	0.6555555560	0.1944444446	0.3138888889	0.2166666668	0.5083333337	0.3833333336	0.2777777778	NR
6	8	38807	3164	426	8135299	8	4	4	4	4	4	4	
0.0527777778	0.0500000000	0.0088444681	-1.3927703114	0.5615124889	-0.0023228621	0.6694444449	0.1888888890	0.3333333336	0.2055555557	0.5222222226	0.2666666668	0.2305555557	NR
2	4	466334	5336	521	1304277	8	4	2	4	8	8	4	
0.0500000000	0.0500000000	0.0095808185	-1.5011211024	0.7049065247	-0.0030250536	0.6638888894	0.1888888890	0.3055555558	0.1861111112	0.4944444448	0.2666666668	0.2277777777	NR
4	4	720373	6604	8605	1807995	2	4	6	4	8	6	6	
0.0583333333	0.0472222222	0.0106434286	-1.6440391490	1.7347844980	-0.0085544329	0.6583333338	0.1916666668	0.3222222224	0.2027777779	0.5138888893	0.2611111113	0.2222222224	NR
8	6	38218	6166	977	5754992	6	2	8	4	4	2	2	
0.0555555556	0.0527777778	0.0119783637	-1.8701182848	1.8215419782	-0.0089969786	0.6722222227	0.1972222223	0.3083333335	0.1916666668	0.5055555559	0.3388888891	0.3027777778	NR
2	2	88547	2988	084	8489937	8	8	2	6	6	2	2	
0.0444444444	0.0555555556	0.0097498407	-1.5512093801	0.8457181737	-0.0039468881	0.6333333338	0.1972222223	0.3138888891	0.1805555557	0.5111111115	0.3833333336	0.2694444444	NR
8	4	222694	2824	4629	0687519	4	8	4	2	4	6	6	

Ilustración 41 - Segunda porción de datos de detección de arritmia

Como se puede observar, la SVM reporta 8 arritmias de tipo NR en sus respectivas posiciones. Una vez prosigue el flujo y la aplicación web carga la interfaz visual con la señal y los hallazgos, se puede comprobar que la información concuerda con la que se aprecia es los archivos CSV.

Hallazgos

Tipo: NS

- Desde: 0.452777777814 - Seg
- Hasta: 1.522222222344 - Seg
- QRS: 0.1861111126 - Seg
- ST: 0.316666666692 - Seg
- STt: 0.175000000004 - Seg
- QT: 0.502777777815 - Seg
- PR: 0.269444444466 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Tipo: NS

- Desde: 1.0861111196 - Seg
- Hasta: 2.155555555728 - Seg
- QRS: 0.180555555597 - Seg
- ST: 0.3000000000024 - Seg
- STt: 0.200000000006 - Seg
- QT: 0.450555555594 - Seg
- PR: 0.291666666669 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Tipo: NS

- Desde: 1.741666666808 - Seg
- Hasta: 2.8111111336 - Seg
- QRS: 0.194444444446 - Seg
- ST: 0.313888888894 - Seg
- STt: 0.216666666664 - Seg
- QT: 0.508333333374 - Seg
- PR: 0.2777777778 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Tipo: NS

- Desde: 2.4111111304 - Seg
- Hasta: 3.480555555834 - Seg
- QRS: 0.188888888894 - Seg
- ST: 0.33333333336 - Seg
- STt: 0.205555555572 - Seg
- QT: 0.522222222264 - Seg
- PR: 0.230555555574 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Tipo: NS

- Desde: 3.075000000246 - Seg
- Hasta: 4.144444444776 - Seg
- QRS: 0.188888888894 - Seg
- ST: 0.305555555598 - Seg
- STt: 0.1861111126 - Seg
- QT: 0.494444444484 - Seg
- PR: 0.227777777796 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Tipo: NS

- Desde: 3.730555555854 - Seg
- Hasta: 4.800000000384 - Seg
- QRS: 0.191666666682 - Seg
- ST: 0.322222222248 - Seg
- STt: 0.202777777794 - Seg
- QT: 0.513888888893 - Seg
- PR: 0.22222222224 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Tipo: NS

- Desde: 4.40277777813 - Seg
- Hasta: 5.47222222256 - Seg
- QRS: 0.197222222238 - Seg
- ST: 0.308333333398 - Seg
- STt: 0.191666666682 - Seg
- QT: 0.505555555596 - Seg
- PR: 0.302777777802 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Tipo: NS

- Desde: 5.038888889292 - Seg
- Hasta: 6.108333333822 - Seg
- QRS: 0.197222222238 - Seg
- ST: 0.313888888894 - Seg
- STt: 0.180555555597 - Seg
- QT: 0.5111111152 - Seg
- PR: 0.269444444466 - Seg

Diagnóstico:

Ingrese un tipo...

Actualizar

Ilustración 42 - Evidencia de electrocardiograma creado en el sistema con la información correcta de la clasificación de la SVM

5.1.5 Pruebas de consultas geográficas

Se desea verificar que el sistema responde correctamente a una consulta geográfica con respecto a los criterios de arritmias registrados en el sistema.

Prueba: Consulta geográfica por arritmias

Precondiciones: Login previo como profesional

Procedimiento: Abrir el panel de geo analíticas y diligenciar los siguientes datos:

Tipo de arritmia calculada: L

Resultado esperado: El sistema debe responder con la vista en el mapa de la ubicación junto con los polígonos correspondientes de la ubicación geográfica de los pacientes que padecen determinada arritmia.

Resultado real: Exitoso

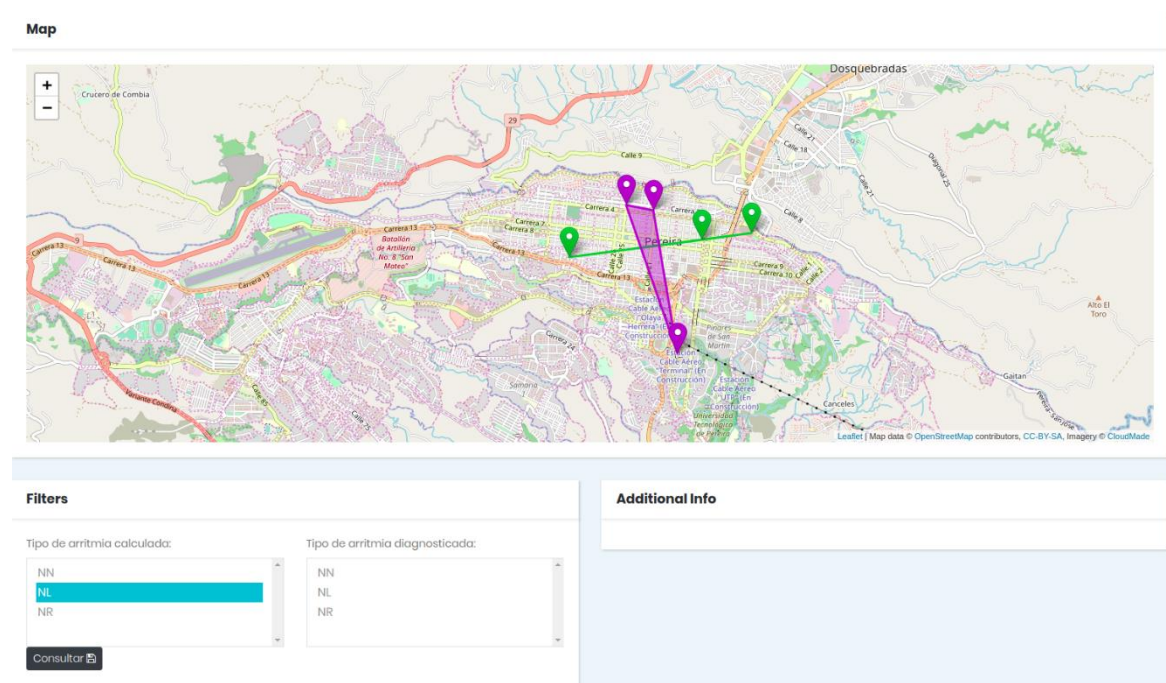


Ilustración 43 - Evidencia de consulta geográfica exitosa

6. Documentación técnica

Por tratarse de un proyecto de software, se genera la siguiente documentación técnica en aras de llevar un proceso bien documentado y que permita llevar una trazabilidad de los componentes que lo forman. Estos son:

- **Casos de uso:** Los casos de uso forman parte de los diagramas de UML, consisten en una especificación realizada por el analista de software en donde este describe los escenarios en los cuales el sistema va a funcionar, cómo debe responder ante cada una de las acciones del usuario, cuáles son los cursos alternos que puede tomar, condiciones que se deben cumplir para llevar a cabo los casos, la prioridad de los requerimientos, el rol del usuario que realiza la acción y las post condiciones de los casos. Véase (Anexo Casos de uso).
- **Requerimientos:** Dentro de la especificación de requerimientos se realiza un desglose del propósito y el alcance del aplicativo. También se detallan los términos, las siglas y las convenciones de carácter técnico que pueda requerir aclaración tanto en la lógica del negocio como del sistema. Allí, se describen los requerimientos funcionales (relativos a la operación y uso del sistema como herramienta para realizar una determinada acción) y los requerimientos no funcionales que buscan determinar todas las condiciones que el sistema debe cumplir de forma transversal a los requerimientos funcionales como por ejemplo requerimientos de desempeño mínimo, tiempo de disponibilidad, mantenibilidad, seguridad, etc. Véase (Anexo Requerimientos)
- **Manual Técnico:** Este documento comprende las indicaciones técnicas que se deben seguir para poner en funcionamiento la aplicación. Este contiene información acerca de requerimientos y puesta a punto del sistema, indicaciones de cómo están distribuidos los componentes del sistema, instalación y configuración inicial entre otros.

7. Conclusiones

- El desarrollo de aplicaciones web con propósitos clínicos proporciona una herramienta muy importante que puede aprovechar el conocimiento de diversos sectores de la salud en aras de maximizar la probabilidad de entregar un diagnóstico acertado con respecto a las afecciones que padece el paciente. Estructurar la información también contribuye a un manejo adecuado de la información tanto para administradores como para profesionales que la utilizan.
- Entregar un prediagnóstico de las arritmias otorga a los profesionales un insumo para tomar decisiones con respecto a electrocardiogramas largos, que pueden ser difíciles de leer y por tanto poder producir ocasionalmente diagnósticos errados por una mala lectura. Realiza este proceso le ayuda al profesional para saber dónde se encuentran puntos críticos de los ECG y estudiarlos en detalle
- El aprendizaje de máquina se está convirtiendo cada vez más en la herramienta por excelencia para aplicaciones clínicas. Al disminuir el tiempo que les toma interpretando ECG de forma tradicional, se puede observar que se optimiza el recurso humano y otorgan la posibilidad de incrementar la disponibilidad de los médicos para atender a otros pacientes.
- La combinación de diferentes áreas del conocimiento junto con tecnologías de la información principalmente WEB tienen el potencial de convertir procedimientos ordinarios en verdaderas herramientas que aportan valor. No solamente las ciencias de la salud sino también todo tipo de organizaciones que se deseen tecnificar sus procesos pues saben que logran llegar convertir una rutina operativa en herramientas tecnológicas que aporten valor. Automovilismo, vehículos autónomos, inversión en bolsa y muchas otras aplicaciones.

8. Bibliografía

Anzola, N. S. (2015). Máquinas de soporte vectorial y redes neuronales artificiales en la predicción del movimiento USD/COP spot intradiario.

Como funciona el corazón. (2001).

Da S.Luz, E. J., Robson Schwartz, W., Cámara, G., & Menotti, D. (2016). ECG-based heartbeat classification for arrhythmia detection: A survey. *Elsevier*, 144-164.

Dan C. Cireş,an, U. M. (2011). *Flexible, High Performance Convolutional Neural Network for Images Classification*. Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence.

Filtro Digital. (2019). Obtenido de Wikipedia.

Hamed, I., & Owis, M. I. (2016). Automatic Arrhythmia Detection Using Support Vector Machine Based on Discrete Wavelet Transform. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 204-209.

<https://www.fairview.org/patient-education/82748>. (2018).

Máquinas de vectores de soporte. (2019). Obtenido de Wikipedia.

Matich, D. J. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*. Rosario, Argentina.

Pinzon, M. C. (2011). *Análisis de señal del impulso cardíaco para el mejoramiento de del diagnóstico de patologías del corazón*. Pereira.

Propiedades electricas del corazón. (2017).

9. Anexos

9.1 Casos de uso

CU-001		Autenticación (Profesional)	
TIPO		Esencial	
ACTORES		PROFESIONAL	
PROPOSITO		Este caso de uso permite al profesional solicitar el ingreso de su cuenta a través de un registro	
RESUMEN		El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda acceder a su cuenta.	
PRECONDICIÓN		La cuenta del profesional debe existir.	
SECUENCIA NORMAL		Acción de los actores	
		Respuesta del sistema	
		1. Este caso de uso inicia cuando un usuario profesional desea ingresar a su cuenta.	
		2. El sistema solicita el correo y la contraseña con la que está registrado.	
		3. El usuario profesional digita los datos	
		4. El sistema verifica que el correo y la contraseña escritas por el usuario profesional sean correctas de acuerdo con la información que está registrada.	
		5. El sistema permite el ingreso del usuario profesional a su cuenta.	
		6. El usuario profesional visualiza el contenido de su cuenta.	
Curso alterno			
Paso		Acción	
4		Si el correo y/o la contraseña no son correctas, el sistema muestra un mensaje informando que no son correctos los datos y que los vuelva a digitar, Regresar al paso 3; o diligenciar la solicitud para restablecer la contraseña.	
POST CONDICIONES		El usuario profesional visualiza el contenido de su cuenta.	
COMENTARIOS			

CU-002 Recuperar contraseña (Profesional)	
TIPO	Esencial
ACTORES	PROFESIONAL
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional solicitar la recuperación de su contraseña
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda recuperar su contraseña
PRECONDICIÓN	La cuenta del profesional debe existir.

SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores		Respuesta del sistema
			1. El sistema le muestra un campo para diligenciar el correo
	2. El usuario ingresa el correo solicitado por el sistema selecciona la opción enviar solicitud de recuperación de contraseña		3. El sistema verifica los datos que coincidan con el correo ingresado por el usuario, y envía nuevamente la contraseña al correo registrado del usuario
	4. El usuario recibe la contraseña por correo electrónico		
	Curso alterno		
	Paso	Acción	
	3	Sí el correo no coincide con el ingresado en el registro, el sistema muestra un mensaje diciendo que no se puede recuperar la contraseña, que el Id es incorrecto y por favor lo digite de nuevo. Volver al paso 3	
POST CONDICIONES	El usuario profesional recupera su contraseña.		
COMENTARIOS			

CU-003 Modificar un paciente (Profesional)			
TIPO	Esencial		
ACTORES	PROFESIONAL		
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional modificar un paciente		
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda modificar a un paciente		
PRECONDICIÓN	Ninguna		
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores		Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción de modificar paciente en el índice de pacientes.		2. El sistema le muestra campos para diligenciar el documento, nombres, apellidos, fecha de nacimiento, teléfono, comentarios, ubicación de domicilio y trabajo.
	3. El profesional ingresa los campos solicitados		4. El sistema verifica los datos, los guarda en la base de datos y redirecciona al detalle de usuario
	5. El profesional visualiza el registro del paciente		
	Curso alterno		
	Paso	Acción	
	4	Si los datos no son válidos, presentar de nuevo el formulario indicando los errores encontrados.	
POST CONDICIONES	El paciente es modificado en el sistema		
COMENTARIOS			

CU-004 Visualizar un paciente (Profesional)		
TIPO	Esencial	
ACTORES	PROFESIONAL	
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional registrar un paciente	
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda registrar a un paciente	
PRECONDICIÓN	Ninguna	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción de ver detalle en el índice de pacientes-	2. El sistema le muestra campos registrados del paciente junto con el historial de electrocardiogramas registrados
POST CONDICIONES	El paciente es visualizado en el sistema	
COMENTARIOS		

CU-005 Eliminar un paciente (Profesional)		
TIPO	Esencial	
ACTORES	PROFESIONAL	
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional eliminar un paciente	
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda eliminar a un paciente	
PRECONDICIÓN	Ninguna	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción de eliminar paciente en el índice de pacientes.	2. El sistema le solicita confirmar la acción de eliminar
	3. El profesional confirma la acción	4. El sistema elimina el usuario junto con los demás registros enlazados
	Curso alterno	
	Paso	Acción
POST CONDICIONES	4	Si los datos no son válidos, presentar de nuevo el formulario indicando los errores encontrados.
	El paciente es modificado en el sistema	
COMENTARIOS		

CU-006 Agregar un electrocardiograma (Profesional)	
TIPO	Esencial
ACTORES	PROFESIONAL
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional agregar un electrocardiograma
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda agregar un electrocardiograma

PRECONDICIÓN	Ninguna	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción de nuevo electrocardiograma en el índice de ecg.	2. El sistema le muestra campos para diligenciar los campos requeridos como el paciente, la fecha en que se realiza el examen, la información del electrocardiograma y observaciones con respecto a la revisión
	3. El profesional ingresa los campos solicitados	4. El sistema verifica los datos, realiza el procesamiento del electrocardiograma, los guarda en la base de datos y redirecciona al detalle del ecg
	5. El profesional visualiza el registro del ecg con los resultados del proceso	
	Curso alterno	
	Paso	Acción
	4	Si los datos no son válidos, presentar de nuevo el formulario indicando los errores encontrados.
POST CONDICIONES	El electrocardiograma es registrado en el sistema	
COMENTARIOS		

CU-007	Modificar un electrocardiograma (Profesional)	
TIPO	Esencial	
ACTORES	PROFESIONAL	
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional modificar un electrocardiograma	
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda modificar un electrocardiograma	
PRECONDICIÓN	Ninguna	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción de modificar electrocardiograma en el índice de ecg.	2. El sistema le muestra campos para diligenciar los campos requeridos como el paciente, la fecha en que se realiza el examen, la información del electrocardiograma y observaciones con respecto a la revisión.
	3. El profesional ingresa los campos solicitados	4. El sistema verifica los datos, realiza el procesamiento del electrocardiograma, los guarda en la base de datos y redirecciona al detalle del ecg

	5. El profesional visualiza el registro del ecg con los resultados del proceso	
	Curso alterno	
	Paso	Acción
	4	Si los datos no son válidos, presentar de nuevo el formulario indicando los errores encontrados.
POST CONDICIONES	El electrocardiograma es modificado en el sistema	
COMENTARIOS		

CU-008 Eliminar un electrocardiograma (Profesional)		
TIPO	Esencial	
ACTORES	PROFESIONAL	
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional eliminar un electrocardiograma	
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda eliminar un electrocardiograma	
PRECONDICIÓN	Ninguna	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción de eliminar electrocardiograma en el índice de ecg.	2. El sistema le solicita al profesional confirmar la acción
	3. El profesional confirma	4. El sistema elimina el ecg con los registros asociados
POST CONDICIONES	El electrocardiograma es eliminado del sistema	
COMENTARIOS		

CU-009 Visualizar un electrocardiograma (Profesional)		
TIPO	Esencial	
ACTORES	PROFESIONAL	
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional visualizar un electrocardiograma	
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda visualizar un electrocardiograma	
PRECONDICIÓN	Ninguna	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción de visualizar electrocardiograma en el índice de ecg.	2. El sistema le muestra al usuario los detalles del electrocardiograma, la señal completa y las arritmias encontradas
POST CONDICIONES	El electrocardiograma es eliminado del sistema	
COMENTARIOS		

CU-010 Etiquetar una arritmia (Profesional)		
TIPO	Esencial	
ACTORES	PROFESIONAL	
PROPOSITO	Este caso de uso permite al profesional etiquetar con el tipo correcto una arritmia reportada por el sistema	
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda etiquetar una arritmia encontrada desde la interfaz de visualización de electrocardiograma	
PRECONDICIÓN	El electrocardiograma debe haber sido procesado exitosamente en el sistema y debe contener arritmias detectadas	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El profesional hace clic en la opción desplegable, al lado derecho de cada una de las arritmias reportadas en la visualización del electrocardiograma	2. El sistema le muestra al usuario tipos de arritmia.
	3. El profesional elige el tipo adecuado para la arritmia y hace clic en Actualizar	4. El sistema guarda el tipo de arritmia diagnosticada por el profesional
POST CONDICIONES	El tipo de arritmia es registrado en el sistema	
COMENTARIOS		

CU-011	Consultas geográficas (Profesional y Admin)	
TIPO	Esencial	
ACTORES	PROFESIONAL	
PROPOSITO	Este caso de uso permite al usuario administrador y profesional consultar la información de los pacientes que tienen registrado un conjunto determinado de arritmias	
RESUMEN	El sistema deberá proporcionar acceso a la interfaz adecuada para que el profesional pueda consultar la localización de los pacientes eligiendo los tipos de arritmia	
PRECONDICIÓN	El sistema debe contener información de arritmias y usuarios	
SECUENCIA NORMAL	Acción de los actores	Respuesta del sistema
	1. El usuario hace clic en el menú de Geo analíticas	2. El sistema le muestra una interfaz donde puede visualizar un mapa y tipos de arritmia para seleccionar
	3. El usuario elige los tipos de arritmias que se desean visualizar y hace clic en consultar	4. El sistema dibuja en el mapa marcadores con polígonos con las ubicaciones de domicilio y trabajo de las personas que poseen determinada arritmia

POST CONDICIONES	El tipo de arritmia es registrado en el sistema
COMENTARIOS	

9.2 Requerimientos

9.2.1 Propósito

El presente documento tiene como propósito definir las especificaciones funcionales y no funcionales para la implementación de una aplicación WEB que permitirá administrar, procesar y consultar la información de electrocardiogramas cargados por profesionales de la salud a su vez que implementa un sistema de reconocimiento de electrocardiogramas utilizando máquinas de soporte vectorial.

9.2.2 Alcance

Diseño, desarrollo e implementación de un sistema de información para el procesamiento, gestión y consulta de pacientes y electrocardiogramas por parte de profesionales de la medicina para el prediagnóstico de ciertos tipos de arritmias. El sistema de información debe contener módulos que permitan la gestión de:

- **Usuarios:** Los usuarios pueden tener roles de administrador y profesional, los cuales podrán acceder y gestionar información de pacientes. Este componente también debe permitir la gestión de autenticación y recuperación de cuentas de usuario.
- **Electrocardiogramas:** Se debe poder cargar al sistema información de ECG's de forma que se realice el análisis y prediagnóstico de determinados tipos de arritmias. Esta información debe poder ser visualizada en cualquier momento y debe permitir la etiquetación por parte del profesional con el fin de corregir prediagnósticos errados y contribuir a la retroalimentación de la SVM y afinar su precisión.
- **Consultas geográficas:** Se debe poder visualizar en un mapa la ubicación de domicilio y trabajo de pacientes mediante la selección de determinadas arritmias padecidas por ellos.

9.2.3 Personas involucradas

Nombre: Jonatan Gutierrez Obando

Rol: Desarrollo, análisis y pruebas

Responsabilidades: Planeación, desarrollo de componentes, implementación y pruebas

9.2.4 Definiciones, siglas y convenciones

9.2.4.1 Del negocio

- **ECG:** El electrocardiograma es la representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón en función del tiempo, que se obtiene, desde la superficie corporal, en el pecho, con un electrocardiógrafo en forma de cinta continua.
- **Cardiólogo:** Los cardiólogos son médicos que se especializan en el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades del corazón y el sistema circulatorio en general.
- **Arritmia:** Es un trastorno de la frecuencia cardíaca (pulso) o del ritmo cardíaco. El corazón puede latir demasiado rápido (taquicardia), demasiado lento (bradicardia) o de manera irregular.
- **Corazón:** En los animales vertebrados, incluyendo el ser humano y mamíferos en general, es un órgano muscular hueco que funciona como una bomba aspirante e impelente que impulsa la sangre a través de las arterias para distribuirla por todo el cuerpo.

- **Geolocalización:** La geolocalización es la capacidad para obtener la ubicación geográfica real de un objeto, como un radar, un teléfono móvil o un ordenador conectado a Internet.

9.2.4.2 Del sistema

- **Servidor:** Un servidor es un computador u otro tipo de equipo informático encargado de suministrar información a una serie de clientes, que pueden ser tanto personas como otros dispositivos conectados a él. La información que puede transmitir es múltiple y variada: desde archivos de texto, imagen o vídeo y hasta programas informáticos, bases de datos, etc.
- **Base de datos:** Una base de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso. En este sentido; una biblioteca puede considerarse una base de datos compuesta en su mayoría por documentos y textos impresos en papel e indexados para su consulta.
- **Sistema de archivos:** Es el componente del sistema operativo encargado de administrar y facilitar el uso de las memorias periféricas, ya sean secundarias o terciarias. Sus principales funciones son la asignación de espacio a los archivos, la administración del espacio libre y del acceso a los datos resguardados.
- **Máquina de soporte vectorial (SVM):** Consiste en un conjunto de técnicas de aprendizaje computacional y funcionan correlacionando datos a un espacio de características de grandes dimensiones de forma que los puntos de datos se puedan categorizar, incluso si los datos no se puedan separar linealmente de otro modo. Se detecta un separador entre las categorías y los datos se transforman de forma que el separador se puede extraer como un hiperplano.
- **Comandos:** Son instrucciones que el usuario proporciona a un sistema informático, desde la línea de órdenes (como una Shell) o desde una llamada de programación. Pueden ser internos (contenido en el propio intérprete) o externos (contenido en un

archivo ejecutable). Suelen admitir parámetros o argumentos de entrada, lo que les permite modificar su comportamiento predeterminado.

9.2.5 Requerimientos funcionales

Los detallados en los casos de uso del Anexo (9 – Casos de uso)

9.2.6 Requerimientos no funcionales

9.2.6.1 Resistencia a fallos

La aplicación debe poder seguir funcionando pese a errores de ejecución que se presenten que no sean de tipo FATAL. Las peticiones de los demás usuarios no deben verse afectadas porque la solicitud de otro usuario haya fallado.

9.2.6.2 Seguridad

La aplicación debe poder restringir el acceso a los datos únicamente a las personas autorizadas. Estas son, personas que tienen cuentas con rol de profesional o administrador en el sistema y bloquear cualquier intento de acceso no autorizado por parte de cualquier otro tipo de usuario.

9.2.6.3 Mantenibilidad

El sistema debe desarrollarse utilizando componentes reusables que permitan su fácil modificación y migración. Esto consiste en desarrollar el aplicativo siguiendo filosofías de DRY (*don't repeat yourself*), de forma que cuando se desee reconstruir o realizar modificaciones parciales de alguno de los módulos, estos solo deban realizarse desde un mismo lugar, en lugar de repetir dichos cambios en diferentes lugares del código fuente.

9.2.6.4 Confiabilidad

La información que se encuentra registrada en el sistema debe mantenerse estructurada, es decir que fallos en el sistema durante algún tipo de cambio no puede afectar la confiabilidad con respecto a la estructura, integridad y semántica de los datos.

9.2.7 Roles del sistema

9.2.7.1 Profesional

- Puede crear, editar, eliminar y visualizar pacientes creados por el
- Puede crear, editar, eliminar y visualizar electrocardiogramas creados por el
- Puede consultar la información geográfica de los usuarios del sistema

9.2.7.2 Administrador

- Puede crear, editar, eliminar y visualizar pacientes y profesionales
- Puede crear, editar, eliminar y visualizar los electrocardiogramas de todos
- Puede consultar la información geográfica de los usuarios del sistema